

# **BRENNSTOFFZELLE SIMULATIONSMODELL**

**Professor:** Dr.-Ing. Hans-Jörg Rüdinger

**Hochschule Niederrhein**

**Autor:** Laura Rodríguez Larumbe



## **Danksagungen**

Zunächst einmal würde Ich mag die Hochschule Niederrhein für die mir die Gelegenheit geben zu meinem Projekt in Krefeld zu tun und legte mir zur Verfügung stehenden alle Informationen betreffend Bücher, Konferenzräumen, Klassenzimmern und Labors danken.

Auch erkenne ich die Hilfe von profesorado.Prof. Dr. rer. nat. Ulrich Tipp für die Hilfe, die zu Beginn des Projekts gezeigt, und insbesondere Prof. Dr.-Ing. Hans-Jörg Rüdinger , dass Sie mir die Gelegenheit, interessante Arbeit tun, für den Unterricht und für seine Aufmerksamkeit.

Ich möchte auch auf die Hilfe bei der Entwicklung der Praxis im Labor Younes Lourak vorgesehen anerkennen.

# Index

1. Präsentation .....	6 - 14
1.1 Digital Multimeter.....	7
1.1 Widerstand und Potentiomer.....	7 - 8
1.2 Druckmessgerät .....	9
1.3 Oszilloskop.....	10
1.3.1 Picoscope.....	11
1.4 Mathcad.....	11 - 12
1.5 P-spice.....	12 -13
1.7 Excel.....	13 -14
2 Brennstoffzelle .....	15 - 29
2.1 Die Geschichte der Brennstoffzelle.....	15 - 17
2.2 Was ist eine Kraftstoffbatterie?.....	18 - 20
2.3 Wie funktioniert eine Brennstoffzelle?.....	21 - 23
2.4 Verschiedene Brennstoffzellentypen.....	24 - 28
2.5 Anwendungen und Vorteile von Brennstoffzelle.....	29
3 Erzeugung von Wasserstoff.....	30 - 35
3.1 Erzeugung von Wasserstoff aus Sonnenenergie.....	30
3.2 Erzeugung von Wasserstoff aus solarchemischen Prozessen.....	30
3.3 Erzeugung von Wasserstoff aus Methan (CH <sub>4</sub> ).....	31
3.4 Erzeugung von Wasserstoff aus Photochemie und Photoelektrochemie	31
3.5 Photobiologische Wasserstoffproduktion.....	31
3.6 Erzeugung von Wasserstoff aus elektrolyse.....	32 - 34
3.7 Wasserstoff-Generator NMH2-1000.....	35

4. Simulationsmodell.....	36 - 47
5. Brennstoffzelle BZ12/16.....	48 - 54
5.1 Erste Messung.....	55 - 58
5.2 Zweite Messung.....	59 - 62
5.3 Dritte Messung.....	63 - 65
5.4 Vierte Messung.....	66 - 69
5.5 Fünfte Messung.....	70 - 72
6. Brennstoffzelle H-100 Fuel Cell Stack.....	73 - 78
6.1 Erste Messung.....	79 - 83
7. Lastsprung Messung.....	84 - 86
8. Endgültigen Abschluss.....	87
9. Bibliographie.....	88

# **1. PRÄSENTATION**

Diese Arbeit zielt darauf ab, eine Reihe von Maßnahmen basierend auf Brennstoffzellen machen. Es zielt darauf ab, die Netzspannung- Strom zu ziehen aus unterschiedlichen Zellen und sie Treibstoff in verschiedenen Situationen. Auch haben eine Studie über eine Formel und Grafiken bereits vom Hersteller zur Verfügung gestellt wurden oder gewonnen theoretisch und verglich diese mit den neuen Messungen. Auf diese Weise kann man später, wenn der Grund-Brennstoffzelle arbeitet mit Präzision und nach den Richtlinien, die theoretisch sollten genügen. Darüber hinaus werden diese Maßnahmen erhalten, neue Grafiken, die als Grundlage für andere Operationen betreuen und unterstützen mehr Einsatz von Brennstoffzellen kann.

So führen auch die Maßnahmen und wie man die Ergebnisse, die Sie benötigen, um sowohl das, was eine Brennstoffzelle, wie Messgeräte, um während des gesamten Prozesses nutzen wissen interpretieren.

Es ist weiter im Detail alle Aspekte von Brennstoffzellen erläutert. Dieser Abschnitt beschreibt die verwendete Software und die Elemente, die sie begleiten die Zellen bei Messungen.

### **1.1 Digital Multimeter**

Ein Multimeter, manchmal auch als Tester oder Multitester, ist ein Messinstrument, das die Möglichkeit der Messung verschiedener elektrischer Parameter und Mengen in der gleichen Gerät bietet. Die häufigsten Funktionen sind das Voltmeter, Amperemeter und Ohmmeter. Wird oft von Mitarbeitern aus der ganzen Palette von Elektronik und Elektrizität verwendet.



### **1.2 Widerstand und Potentiometer**

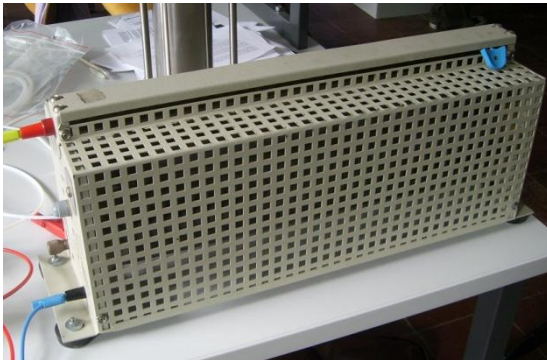
Elektrischer Widerstand, gewöhnlich als  $R$ , ist die Schwierigkeit oder die Opposition von einer Stelle Durchgang eines elektrischen Stromes dargestellt, um durch sie fließen symbolisiert. Im Internationalen Einheitensystem, ist sein Wert in Ohm ausgedrückt, die durch die Großbuchstaben benannt ist griechischen Buchstaben Omega,  $\Omega$ .

Denn da gibt es mehrere Methoden, unter denen der Einsatz von einem Ohmmeter.

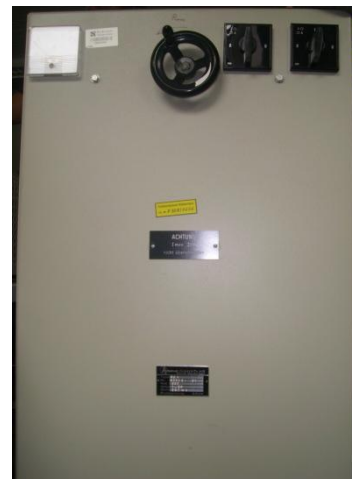
Diese Definition gilt für Gleichstrom und Wechselstrom im Falle der reinen resistive Elemente, das heißt, ohne induktive oder kapazitive Komponenten. Von dort werden diese reaktiven Komponenten, die Opposition gegen den Stromfluss präsentiert wird Impedanz genannt.

Ein Potentiometer ist ein Widerstand, dessen Widerstandswert eingestellt werden kann. Damit indirekt, können Sie steuern die Intensität der Strom durch einen Stromkreis, wenn parallel geschaltet, oder das Potential Unterschied, wenn in Reihe geschaltet.

Normalerweise sind die Potentiometer in geringen Strom-Schaltungen eingesetzt.



0-220Ω



0-1220Ω



### 1.3 Druckmessgerät

Ein Druckmessgerät (auch Manometer – von griech. manos "dünn, durchlässig") ist eine Messeinrichtung zur Erfassung und zum Anzeigen des physikalischen Druckes eines Mediums (Flüssigkeit, Gas). Die meisten Manometer benutzen den Außenluftdruck als Referenzdruck, nur bei Sonderbauformen zum Messen des absoluten Drucks wie zum Beispiel beim Barometer wird ein Vakuum als Referenz benutzt.

Druckmessgeräte können aufgrund ihrer Messverfahren in eingeteilt werden.

- Direkte Druckmessgeräte (Messung der Kraft pro Fläche).
- Indirekte Druckmessgeräte (Messung über Teilchenzahldichte, Wärmeleitung etc.).



### 1.4 Oszilloskop

Ein Oszilloskop ist ein elektronisches Messgerät zur optischen Darstellung einer oder mehrerer elektrischer Spannungen und deren zeitlichen Verlauf auf einem Bildschirm.

Das Oszilloskop stellt dabei einen Verlaufsgraphen in einem zweidimensionalen Koordinatensystem dar, wobei üblicherweise die (horizontale) X-Achse (Abszisse) die Zeitachse ist und die anzuzeigenden Spannungen auf der (vertikalen) Y-Achse (Ordinate) abgebildet werden. Das so entstehende Bild wird als Oszillogramm bezeichnet.

Es gibt analoge und digitale Oszilloskope, wobei analoge Geräte ausschließlich eine Kathodenstrahlröhre zur Anzeige benutzen (Kathodenstrahloszilloskop). Sie sind von digitalen Geräten fast vollständig vom Markt verdrängt worden.

Das Oszilloskop ist neben dem Multimeter eines der wichtigsten Mess- und Diagnosewerkzeuge in der Elektronik und der Elektrotechnik.



### 1.4.1 Picoscope

Auch für die Entwicklung dieser Arbeit PicoScope verwendet werden. PicoScope bietet die Funktionen Oszilloskop, Spektrumanalysator und Multimeter, mit der Fähigkeit, zu speichern und auszudrucken Wellenformen. PicoLog verwandelt das System zu einem leistungsstarken Datenlogger exportieren kann, um eine Tabellenkalkulation oder zeigt sie in grafischer Form, beide Funktionen in Echtzeit oder mit aufgezeichneten Daten.



### 1.5 Mathcad

Mathcad ist eine technische Dokumentation Umwelt Performance-numerische und symbolische Berechnungen, um Fragen zu erkunden, Ideen zu formulieren, analysieren Daten, Modellierung und Kontrolle Szenarien, die beste Lösung zu bestimmen, sowie die Dokumentation, Präsentation und Kommunikation der Ergebnisse.

Mathcad ist ein Arbeitsblatt, in dem Ausdrücke und Gleichungen graphisch dargestellt werden, nicht als einfacher Text organisiert.

Einigen Funktionen von Mathcad sind:

- Lösen von Differentialgleichungen mit verschiedenen numerischen Methoden.
- Grafische Funktionen in zwei oder drei Dimensionen.
- Die Verwendung des griechischen Alphabets (Groß- und Kleinschreibung griechische Buchstaben).
- Berechnung der symbolischen Ausdrücken.
- Arbeiten mit Arrays (Vektoren und Matrizen).
- Symbolische Lösung eines Gleichungssystems.
- Hier finden Sie die Grafik (Trendkurve) einer Datengruppe.
- Statistische Funktionen und Wahrscheinlichkeitsverteilungen.
- Find Eigenwerte und Eigenvektoren und Eigenwerte und Eigenvektoren.

## 1.6 P-spice

Pspice ist ein Programm zur Simulation von analogen und digitalen Schaltungen. Das wichtigste Ziel der Simulation ist nicht nur die Überprüfung der korrekten Funktionsweise einer Schaltung, sondern auch die Analyse und Untersuchung der Schaltung.

Grundfunktion der Schaltungssimulation mit SPICE ist das algorithmische Finden von Näherungslösungen für die systembeschreibenden Differentialgleichungen. Deren Zusammenhang wird von der Schaltungstopologie bestimmt und mittels einer Netzliste, welche die Bauelemente und deren Verbindungen beschreibt, an den Simulator übergeben. Die Bauelemente werden durch Modelle beschrieben, die teils physikalisch orientiert sind, aber auch vollkommen abstrakt formuliert sein können. Im letzteren Fall wird ein Subsystem nur durch Ein/Ausgänge und verknüpfende Gleichungen beschrieben, statt aus Einzelkomponenten zu bestehen. Das führt zu rascheren und zugleich exakteren Simulationsergebnissen, da sich die Modellungenauigkeiten der Einzelkomponenten nicht hochaddieren können. Allerdings bleibt dann das interne Verhalten des Blocks unbekannt.



## 1.7 Excel

Wie die meisten Tabellenkalkulationen ermöglicht Excel umfangreiche Berechnungen mit Formeln und Funktionen, unter anderem mit kaufmännischen, statistischen und Datumsfunktionen. In geringem Umfang können Daten bearbeitet werden, wie kurze Texte verkettet oder logische Berechnungen (wenn...dann) durchgeführt werden.

Abhängig von Inhalten und Werten in der Tabelle kann auf Inhalte an anderer Stelle der Tabellen zugegriffen werden. Die Ergebnisse können mit Hilfe von Sortier-, Gruppier- und Filterfunktionen sowie Pivot-Tabellen ausgewertet und in Diagrammen grafisch dargestellt werden. Tabellen oder Teile davon können gegen Layout- oder Inhaltsänderungen geschützt werden. Die Mindestvoraussetzungen, um in Teamarbeit an Tabellen arbeiten zu können, sind gegeben.

## **2. BRENNSTOFFZELLE**

### **2.1 Die Geschichte der Brennstoffzelle**



William Robert Grove.

Swansea, Wales (11-7-1811) - London (1-8-1896).

Graduiert im 1832

Gründer der S.wansea literarischen und philosophischen Gesellschaft verband  
die königliche Anstalt.

An der königlichen Anstalt ist Grove Emma Maria Powles (1811- 1879)  
getroffen und sie haben im 1837 verheiratet. Die Paare schifften sich auf einer Tour des  
Kontinentes für ihre Flitterwochen ein. Dieses sabbatical Reise angebotene Groven eine  
Gelegenheit, seine wissenschaftlichen Interessen auszuüben und gehabt zur Folge, daß  
sein erstes wissenschaftliches Papier etwas Romanaufbauten für elektrische Zellen  
vorschlägt.

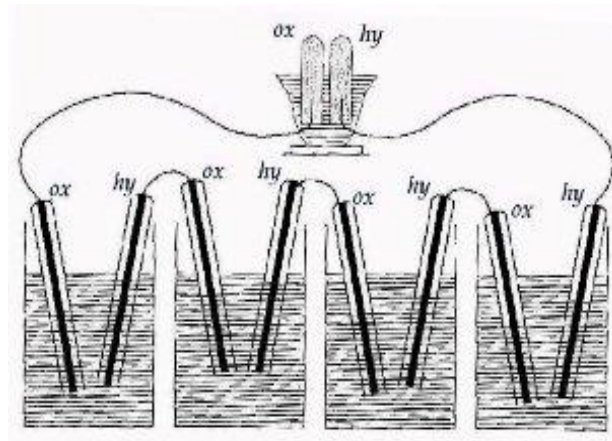
Im 1839 entwickelte Grove eine Romanform der elektrischen Zelle, die Grovezelle, die das Zink und Platinelektroden benutzte, die zwei Säuren ausgesetzt wurden und durch einen porösen keramischen Topf getrennt waren. Grove verkündete die letzte Entwicklung zu den Académie DES Wissenschaften in Paris 1839. Später dieses Jahr, berichtete er ein anderes über seiner Entwicklung an der britischen

Verbindung für die Zuführung der Wissenschaft Sitzung in Birmingham, in dem sie das Interesse von Michael Faraday weckte. Auf invitation Faraday stellte Grove seine Entdeckungen an der prestigevollen königlichen Anstalt Freitag Darlegung am 13. März 1840 dar.

Im 1842 entwickelte Grove die erste Kraftstoffzelle (die er das Gas voltaic Batterie nannte), die elektrische Energie produzierte, indem es Wasserstoff und Sauerstoff kombinierte, und beschrieb sie seine Wechselbeziehungstheorie verwendend. In dem Entwickeln der Zelle und zeigend, daß Dampf sein könnte, disassociated in Sauerstoff und in Wasserstoff, und der Prozeß hob auf, er war die erste Person, zum der thermischen Auflösung der Moleküle in ihre konstituierenden Atome zu demonstrieren. Die erste Demonstration dieses Effektes, gab er Faraday, Gassiot und Edward William Brayley, sein wissenschaftlicher Herausgeber privat. Seine Arbeit führte ihn auch zu den frühen Einblicken in die Natur der Ionisierung.



Dennoch entdeckten die grundsätzlichen Arbeitsweisen der Kraftstoffbatterie etwas vorher zu ihnen (1938) der schweizer Professor christlicher Friedrich Schoenbein (1799 - 1868).



Grove benutzte vier große Zellen, mit H<sub>2</sub> und O<sub>2</sub>, um elektrische Energie zu produzieren, die außerdem verwendet werden könnte, um Wasserstoff und Sauerstoff zu erzeugen (in der überlegenen Zelle, kleiner).

Jedoch die grundlegenden Prinzipien für den Betrieb der Brennstoffzelle entdeckte etwas vor (in 1938) der Schweizer Professor Christian Friedrich Schönbein (1799 -1868).

## 2.2 Was ist eine Kraftstoffbatterie?

Wenn ein Kraftstoff in der Luftatmosphäre gebrannt wird, ist die Kraft, die diese chemische Reaktion nötigt, die Affinität das heißt, die Tendenz die Geschenke/Anzeigen der Kraftstoff, mit Sauerstoff zu reagieren. In einer normalen Verbrennung wird die resultierende Energie der Oxidation des Kraftstoffs in der Hitzeform freigegeben.

KRAFTSTOFF + SAUERSTOFF = PRODUKTE VON OXIDATION + nach Osten

HITZE-Prozeß wird auch für das Erzeugung von Energie in den Wärmekraftwerken benutzt, in denen, durch die Dampfproduktion, mechanische Energie erhalten wird, die bald in elektrische Energie umgewandelt wird. Dennoch zu erreichen ist auch möglich, daß diese Reaktion einer direkten Weise folgt, damit, resultierend aus der Umwandlung von Energie, elektrische Energie sofort freigegeben wird. Die Vorrichtung, die Ostprozeß durchführen darf, ist in der Tat die Kraftstoffbatterie.

Eine Kraftstoffbatterie ist eine elektrochemische Vorrichtung deren Konzept bis das einer Batterie ähnlich ist. Unterschied von diesem letzten, in dem er entworfen ist, um den ununterbrochenen Resupply der verbrauchten Reagenzien zu erlauben; das heißt, produziert es Elektrizität eines Sauerstoff- und Kraftstoffoutsourcings im Gegensatz zu der begrenzten Kapazität des Energiespeichers, der eine Batterie hat.

Zusätzlich reagieren die Elektroden in einer Batterie und Änderung entsprechend von wird geladen oder geleert; jedoch in einer Kraftstoffzelle sind die Elektroden katalytisch und verhältnismäßig beständig. Die benutzten typischen Reagenzien in einer Kraftstoffzelle sind Wasserstoff in der Seite der Anode, dieser komponiert wie Propellant und Sauerstoff in der Seite der Kathode (wenn es eine Wasserstoffzelle ist), die direkt von der Luft erhalten wird. Einerseits verbrauchen die herkömmlichen Batterien feste Reagenzien und, sobald sie erschöpft worden sind, müssen sie mit Elektrizität beseitigt werden oder neu geladen werden. Im Allgemeinen fließen die Reagenzien „in Richtung zum Innere“ und die Produkte der Reaktion „fließen in Richtung zur Außenseite“. Langfristig ist praktisch Dauerbetrieb durchführbar, während diese Flüsse bleiben.

Anders als die Batterien erschöpft eine Kraftstoffzelle nicht noch erfordert Aufladung.

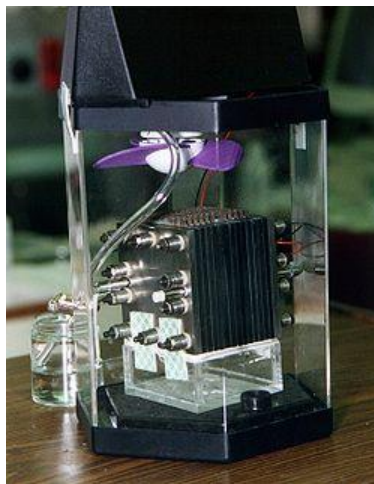
Auch andere Arten Kraftstoffe können benutzt werden, die Wasserstoff in ihrem Molekül, wie dem Gasmethan, dem Methanol, dem Äthanol, dem Benzin oder dem Dieselmotor unter anderen enthalten.

Weil die Erzeugung der elektrischen Energie direkt ist, kann die Leistungsfähigkeit, die eine Kraftstoffbatterie erreicht, sehr erhöht werden, zusätzlich, wenn sie Teile nicht in der Bewegung sind sehr ruhig haben.

Hinzugefügt allem dieses ist es notwendig, zu addieren, daß die Kraftstoffbatterien nicht die Verbrennung wie Einheit des Energieerzeugung verwenden, das praktisch freigibt von der Verschmutzung, da sie nur zum Wasser und zu etwas von Hitze gibt.

Die einzelnen Kraftstoffbatterien können zu Erzeugnis genötigten leistungsfähigeren Motoren zum Beispiel zum Wasserstoff kombiniert werden.

Sie können von den unterschiedlichen Größen und für unterschiedliche Anwendungen, die vom Gebrauch in der zellularen Telephonie gehen, bis den Gebrauch gebildet werden von diesen, Automobile zu nötigen.



### **2.3 Wie funktioniert eine Brennstoffzelle?**

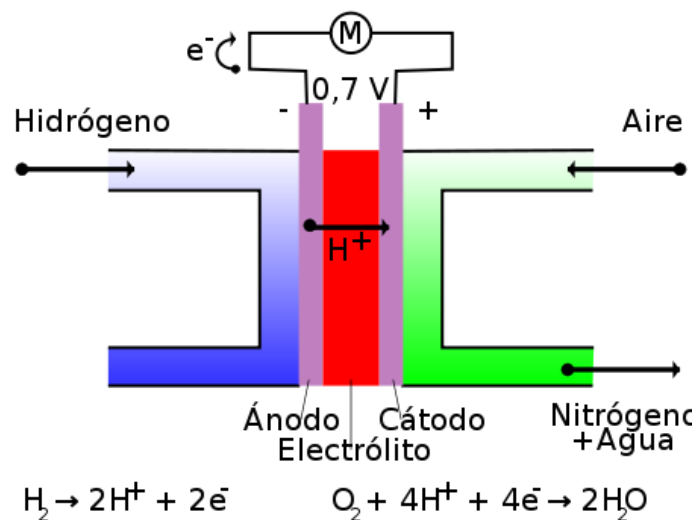
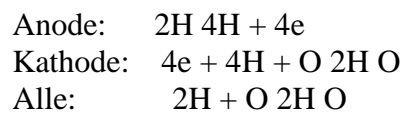
Der Betrieb einer Kraftstoffzelle besteht im Allgemeinen aus der Oxidation des Wasserwasserstoffs und erzeugt elektrische Energie und heizt direkt, ohne durch Generatoren oder andere Vorrichtungen zu überschreiten. Alle Kraftstoffzelle besteht durch eine Anode, eine Kathode und Elektrolyte. Die Oxidation des gleichen Wasserstoffs für alle Arten Kraftstoffzellen dennoch seiend, werden die Materialien, die in diesen sehr benutzt werden, verändert.

Der Wasserstoff fließt in Richtung zur Anode der Zelle, in der eine Platinabdeckung zu den freien Elektronen zu sie ionisiert die Wasserstoffatome hilft, die verlassen werden, das heißt, in Protonform ( $H^+$ ). Die elektrolytische Membrane erlaubt den Einzelschritt der Protone in Richtung zur Kathode.

Weil die Elektronen nicht durch die Membrane geschehen können, werden sie gezwungen, um die Anode durch einen externen Stromkreis als Form des elektrischen Stromes zu lassen, dieser sind der elektrische Strom, der benutzt wird, um Arbeit die Vorrichtungen zu bilden.

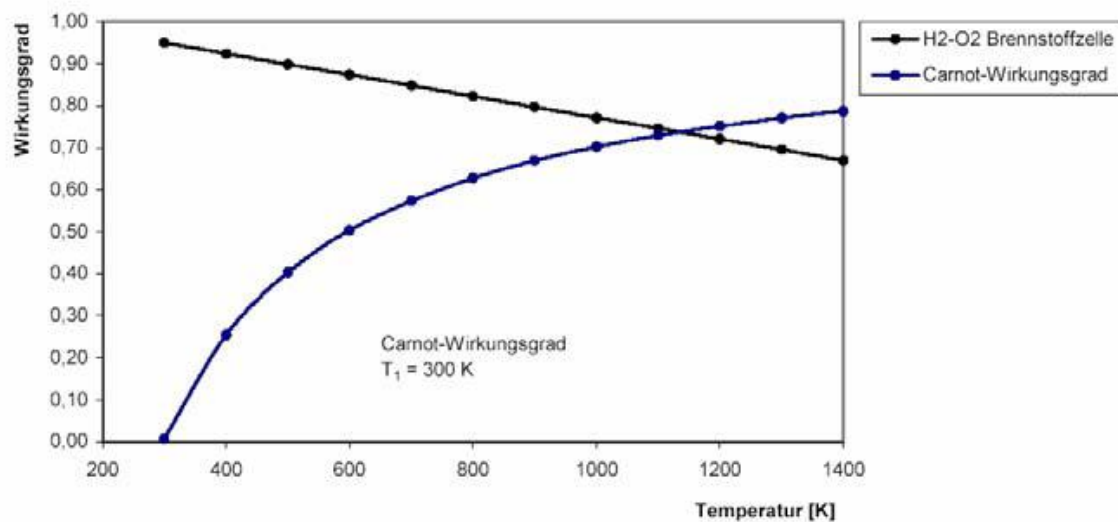
Bald während die Kathode ihn zum Sauerstoff durchfließen läßt, dieser wird mit den Protonen und Elektronen kombiniert, die vorher erwähnt werden, um Wasser zu bilden. Während diese Reaktion natürlich in Richtung zur Wasseranordnung verlegt wird, wenn sie stattfindet, gibt Energie in der Hitzeform frei. Ein dieses positives Rückgespräch und folglich exothermisch.

Der chemische Prozeß, der durchgeführt wird, ist das folgende:



Dieser Betrieb kann von der ununterbrochenen Weise erfolgt werden, wenn die Bestimmungen der Bestandteile in der konstanten Form und zu einem Regime des beständigen Flusses werden.

Diese Art des Betriebes, beim Werden in der Isothermalform, die Beschränkungen, die für das Ergebnis thermodynamisch sind, bestehen nicht (Zyklus von Carnot).



## 2.4 Verschiedene Brennstoffzellentypen

Es ist schwierig heutzutage, festzustellen, welches die beste Kraftstoffbatterie ist. Hier sind sie herausgestelltes am meisten Common.

Einteilung z. B. nach Arbeitstemperatur, Elektrolyt oder Einsatzgebiet

Bedeutung		T [°C]	Anwendung
<b>AFC</b>	Alkalische BZ ( <b>A</b> lkaline <b>F</b> uel <b>C</b> ell)	60-90	Raumfahrt, militärische Anwendungen
<b>DMFC</b>	Direkt-Methanol BZ ( <b>D</b> irect <b>M</b> ethanol <b>F</b> uel <b>C</b> ell)	80-110	Mobile Systeme, Kfz, Raumfahrt, militärische Anwendungen
<b>PEMFC</b>	Membran BZ ( <b>P</b> olymer <b>E</b> lectrolyte <b>M</b> embrane <b>F</b> uel <b>C</b> ell)		
<b>PAFC</b>	Phosphorsäure-BZ ( <b>P</b> hosphoric <b>A</b> cid <b>F</b> uel <b>C</b> ell)	160-200	Kraftwerke
<b>MCFC</b>	Carbonatschmelze-BZ ( <b>M</b> olten <b>C</b> arbonate <b>F</b> uel <b>C</b> ell)	580-650	Kraftwerke
<b>SOFC</b>	Festoxid-BZ ( <b>S</b> olid <b>O</b> xide <b>F</b> uel <b>C</b> ell)	600-1000	Stationäre Systeme, Hilfsstrom-Erzeuger, Kraftwerke

### 2.4.1 Alkalisch (AFC):

Temperatur des Betriebes: 50-250°C.

Für eine lange Zeit verwendet durch die NASA in den Raummissionen, ist diese Art der Zellen in der Lage gewesen, Leistungsfähigkeiten des elektrischen Erzeugung von bis einem 70% zu erreichen. Diese Zellen verwenden hidróxido des Kaliums (KOH) oder hidróxido des Natriums (NaOH) wie Elektrolyt.



#### **2.4.2 Direct-methanol fuel cells (DMFC):**

Temperatur des Betriebes: 50-120°C.

Sind eine Teilmenge von Brennstoffzellen Proton-Exchange, in dem die Methanol als Brennstoff verwendet wird. Die Hauptvorteile sind einfache Transport von Methanol, einem flüssigen Energie-dichten, aber einigermaßen stabil in allen Umgebungsbedingungen und fehlende Reform der komplexen Vorgänge von Dampf. Der Wirkungsgrad ist sehr niedrig für diese Zellen, so sind sie besonders bei mobilen Anwendungen, wo Energie-und Leistungsdichte sind wichtiger als Effizienz ausgerichtet.

#### **2.4.3 Festes Polymer-Plastik (PEM):**

Temperatur des Betriebes: 50-100°C

Sie haben eine hohe Energiedichte, kann ihren Ausgang für Sie verändern erfüllen änderungen in der Nachfrage der Energie und werden angepaßt für Anwendungen, in denen eine Ausgangsnachfrage der ziemlich wichtigen Energie angefordert wird, wie im Falle der Automobile, in Übereinstimmung mit die Abteilung von der Energie der Vereinigten Staaten, „sie sind die Hauptanwärter für helle Träger, Gebäude und möglicherweise andere viel kleinere Anwendungen wie reloadable Batterien für videocameras zum Beispiel“.

#### **2.4.4 Phosphorsäure (PAFC):**

Temperatur des Betriebes: 200°C

dieses ist die Art der Kraftstoffzelle mehr entwickelt zum kommerziellen Niveau und es ist bereits als in verschiedene Anwendungen gebräuchlich, wie klinisch, in den Krankenhäusern, in den Hotels, in den Gebäuden der Büros, in den elektrischen Schulen, in den Betrieben und in einem Flughafenanschluß. Die Kraftstoffzellen der phosphorigen Säure erzeugen Elektrizität zu mehr von 40% von Leistungsfähigkeit und nähern sich 85%, wenn der Dampf, den dieser produziert, im Co-generation benutzt wird, der mit 30% der leistungsfähigsten Maschine von Innenverbrennungs vergleicht. Diese Art der Zellen kann in den großen Trägern wie Bussen und Lokomotiven benutzt werden.

Maßeinheiten von herum 200 Kilowatt bestehen in der kommerziellen Produktion.

#### **2.4.5 Carbonatschmelze (MCFC):**

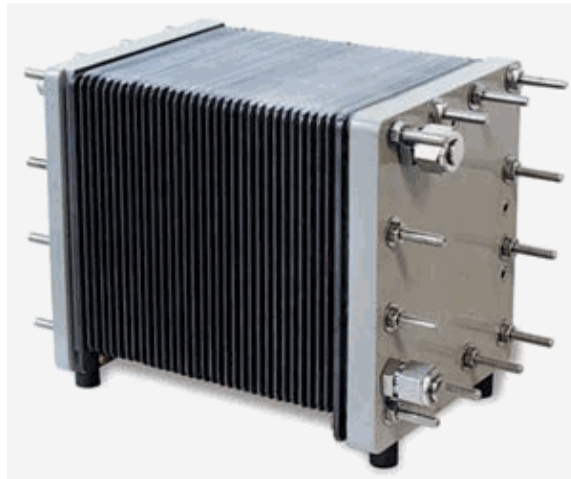
Temperatur des Betriebes: 600°C.

Die fixierten Karbonatkraftstoffzellen versprechen zur Entladungen Leistungsfähigkeiten Kraftstoffelektrizität und zur Fähigkeit, Kraftstoffe mit Kohle zu verbrauchen.

In dieser Art der Zellen wird es der Elektrizität und der erzeugten Hitze genutzt.

Diese Batterien können von 25% bis 125% der nominalen Kapazität des Betriebes funktionieren. Die fixierten Karbonatkraftstoffbatterien benötigen mehr als 16 Stunden, die optimale Leistung zu erreichen, die in der Kälte gewesen wird. Dennoch, wenn man im Wartezustand blieb, nahm es einer Minute ungefähr ihn, um die Gesamtleistung zu erreichen.

Ein anderer der Vorteile ist, daß er nicht Edelmetalle erfordert und Co wie Kraftstoff verwendet.



#### **2.4.6 Festes Oxid (SOFC):**

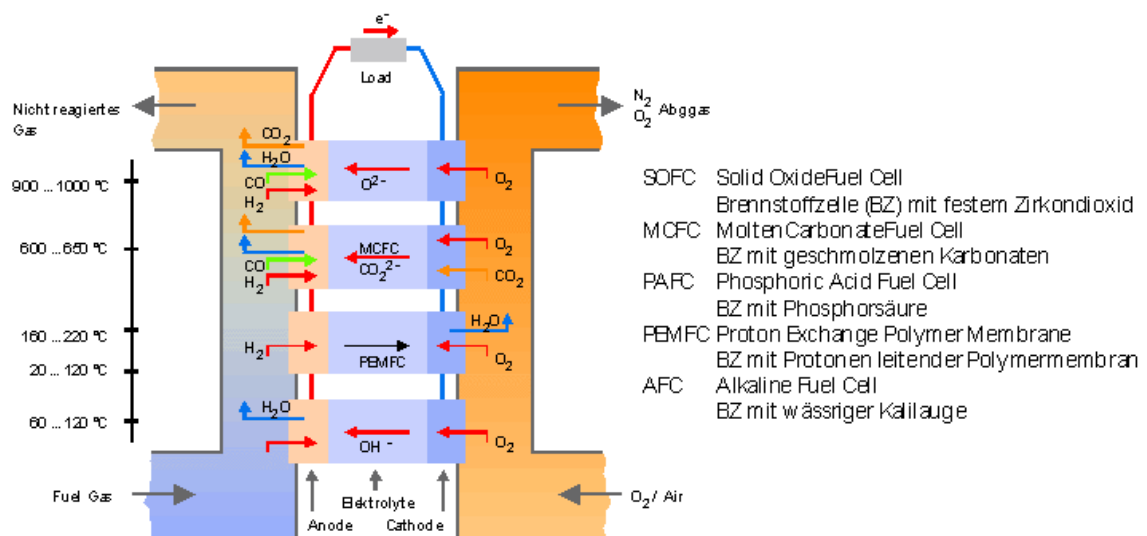
Temperatur des Betriebes: 500-1000°C

es ist eine in hohem Grade vielversprechende Kraftstoffzelle, könnte in den großen Anwendungen der hohen Energie einschließlich Stationen des elektrischen Erzeugung auf großer Skala und Industriellern verwendet werden.

Die Maßeinheiten, die Schutz nehmen, gehen von fast 25 100 Kilowatt Energie.

Ein festes Oxidsystem verwendet normalerweise einen materiellen keramischen Duro anstelle von einem flüssigen Elektrolyt zugebend, daß die Temperatur des Betriebes sehr erhöht wird.

Die Leistungsfähigkeiten der Stromerzeugung können ein 60% erreichen der Kraftstoff, der in H<sub>2</sub> und im CO<sub>2</sub> verwendet.



## **2.5 Anwendungen und Vorteile von Brennstoffzellen**

In der Praxis kann die Effizienz in Brennstoffzellen Werte zwischen 50% und 85% zu erreichen, und haben die Auszeichnung als modular und kompakt, so kann es so gebaut sein, daß die Nachfrage zu befriedigen.

Die verschiedenen Brennstoffzellen-Technologien sorgen für Flexibilität bei der Kraftstoffverbrauch und somit eine Verbesserung seiner Verwendung bald, wenn man bedenkt, dass die bestehende Infrastruktur kann die Handhabung von Treibstoffen wie Methanol, Ethanol, Ethan, Methan, Diesel-und Erdgas-Förderung zwischen andere.

Sie haben eine Lebensdauer von 20.000 bis 40.000 Stunden für Transport-Anwendungen.

Brennstoffzellen sind auch schweigen, da sie keine beweglichen Teile enthalten und benötigt daher keine Schmierung. Ein weiterer Vorteil ist, dass sie parallel angeschlossen werden können, um alle elektrischen Leistung zu erfüllen. Können unabhängig vom Stromnetz oder sei es, was conctadas wenn ein Fehler auftritt. Im optimalen Fall muss dann eine Minute Pause alle sechs Jahre.

Der wirtschaftliche Aspekt ist von großer Relevanz sind die Preise von Brennstoffzellen nicht hoch, wenn sie mit der jährlichen Kosten für Elektro-und Erdgas verglichen. Ihr Einkauf wird in wenigen Monaten amortisiert. Instandhaltungsaufwendungen werden als minimal oder gleich Null.

Wie bereits erläutert worden Brennstoffzellen sind sehr vielseitig und nützlich. Vor allem haben große Anwendung in landwirtschaftlichen Betrieben, Boote, extreme Orte, Militärbasen oder sogar Raumstationen.

### **3. ERZEUGUNG VON WASSERSTOFF**

Der Wasserstoff wird in der Brennstoffzelle genutzt werden kann aus einer Vielzahl von Arten erhalten werden, mit verschiedenen Geräten und Brennstoffen.

#### **3.1 Erzeugung von Wasserstoff aus Sonnenenergie**

In der Solar-Wasserstoff-Zyklus Strom durch Solarmodule für ein Team von Elektrolyse spaltet Wasser in seine elementaren Bestandteile Wasserstoff (H<sub>2</sub>) und Sauerstoff (O<sub>2</sub>). Der Sauerstoff wird in die Luft freigesetzt und Wasserstoff wird in Tanks, wo es in den Ort der Herstellung, lagerfähig gepumpt wird.

#### **3.2 Erzeugung von Wasserstoff aus solarchemischen Prozessen**

Es gibt Verfahren für die solarthermische Wasserstoffproduktion. Insbesondere kann auf Hybridprozesse hingewiesen werden, in denen fossile Brennstoffe mit Sonnenenergie umgesetzt werden (solar unterstützte carbothermische Reduktion von Metalloxiden, Umsetzung von Metalloxiden mit Methan). Auch die Möglichkeit der solarchemischen Dekarbonisierung von Kohlenwasserstoffen kommt in Betracht. Ergänzend sei die solarchemische Spaltung von HBr erwähnt, die am National Renewable Energy Laboratory (NREL) untersucht wird,



Das zweite energiereiche Produkt, Br<sub>2</sub>, kann auf verschiedene Arten genutzt oder in Zyklen in den Prozess zurückgeführt werden.

### **3.3 Erzeugung von Wasserstoff aus Methan (CH<sub>4</sub>)**

Wenn die Menge der benötigten Energie wichtig ist, ist es am besten zu einem System mit Erdgas oder Methan zugeführt erlassen. Dieses System ist auf die Oxidation von Methan basiert auf Kohlendioxid und Wasserstoff, die zur Brennstoffzellen-Feeds geht zu produzieren. Die Erzeugung von Wasserstoff aus Methan ist auf der folgenden chemischen Reaktion:



### **3.4 Erzeugung von Wasserstoff aus Photochemie und Photoelektrochemie**

Konzepte zur photochemischen Wasserstoffproduktion an Halbleiterteilchen basieren auf Elektronenübertragungsreaktionen. In der Photoelektrochemie wird die erforderliche Spannung für die Wasserelektrolyse gesenkt, indem auf die mit geeigneten Zusatzstoffen beschichteten Elektroden Licht eingestrahlt wird. Auch hier sind photochemische Elektronenübertragungsreaktionen involviert.

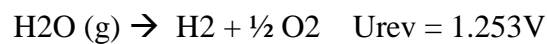
### **3.5 Photobiologische Wasserstoffproduktion**

Hier versteht man die Photosyntheseaktivität von Bakterien, Algen und Mikroorganismen für die wasserstoffproduktion.

### **3.6 Erzeugung von Wasserstoff aus elektrolyse**

Als Module stehen die alkalische Elektrolyse in flüssiger Phase (bei Normaldruck oder erhöhtem Druck) und die Dampfelektrolyse bei 1200-1300K zur Verfügung. Der Wirkungsgrad eines modernen Elektrolyseurs (bezogen auf die freie Enthalpieänderung  $\Delta G_v$  bei der Verbrennung des produzierten Wasserstoffes) kann 80% erreichen. Während der Elektrolyseprozess von flüssigem Wasser ausgeht, wird bei der späteren Nutzung des Wasserstoff die Kondensationswärme des gasförmigen Wassers nur in seltenen Fällen genutzt.

Bezeichnet man mit  $U$  die tatsächlich im Elektrolyseur verwendete Spannung und mit  $U_{rev}$  die reversible Zellspannung bezogen auf die elektrochemische Reaktion:



So ist in der Definition des Wirkungsgrades:

$$\eta = U_{rev}/U$$

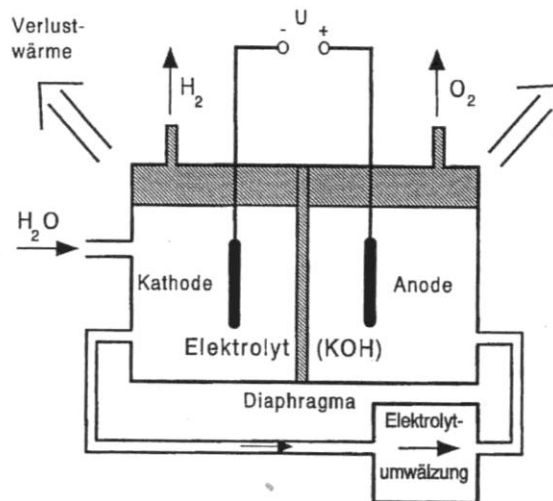
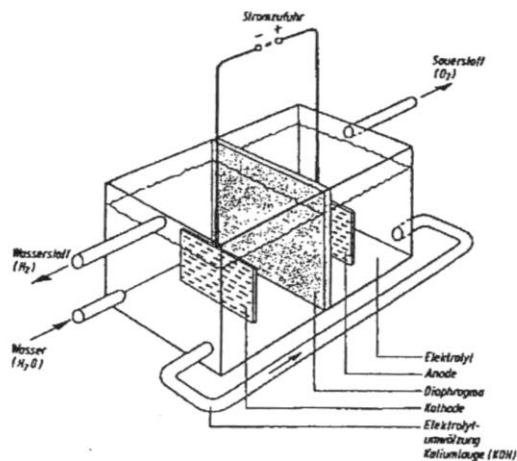
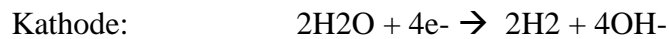
der Verlust der Kondensationswärme bereits mit berücksichtigt.



In einem Elektrolyseur wird Wasser durch die Einwirkung elektrischen Stromes in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. In diesem Fall umgibt eine wässrige Kalilauge die Elektroden. Das umgesetzte Wasser muss zur Aufrechterhaltung der Konzentration dauernd ersetzt werden.



Die kathodenseitigen und anodenseitigen Anteile der Reaktion laufen dabei folgendermaßen ab:



Wasserstoff als Energieträger durch Elektrolyse herzustellen ist global betrachten nur dann sinnvoll, wenn die Elektrizität aus erneuerbaren Energien gewonnen wurde, z.B. aus Wasserkraftwerken, Windkraftanlagen, Überschussstrom, solarthermischen Kraftwerken oder geothermischen Kraftwerken.

Dabei ist für eine globale Analyse das gesamte Energieversorgungssystem zu betrachten. Wenn gleichzeitig noch fossil befeuerte Kraftwerke betrieben werden, kann es sinnvoller sein, mit Solarstrom ein Kohlekraftwerk entbehrlich zu machen, als den Solarstrom für Wasserelektrolyse zu verwenden.

Andererseits kann die Produktion von Wasserstoff durch Elektrolyse die geeignete Lösung des Speicherproblems sein, wenn z.B. die Hochspannungs-Gleichstromübertragung wegen der involvierten Distanzen nicht möglich ist.

Wasserstoffproduktion stellt auch für die Überbrückung zeitlicher Ungleichgewichte zwischen Produktion von und Nachfrage nach Elektrizität eine Option dar. Je größer das zu einem Elektrizitätsverbund vernetzte System ist, desto leichter sollte es sein, Überschüsse und Bedarfsspitzen auszugleichen.

Ein zweites Argument für die Wasserstoffproduktion mit Elektrolyse können lokale Emissionsvorteile sein (z.B. der schadstofffreie Antrieb von Brennstoffzellenfahrzeugen für Städte).

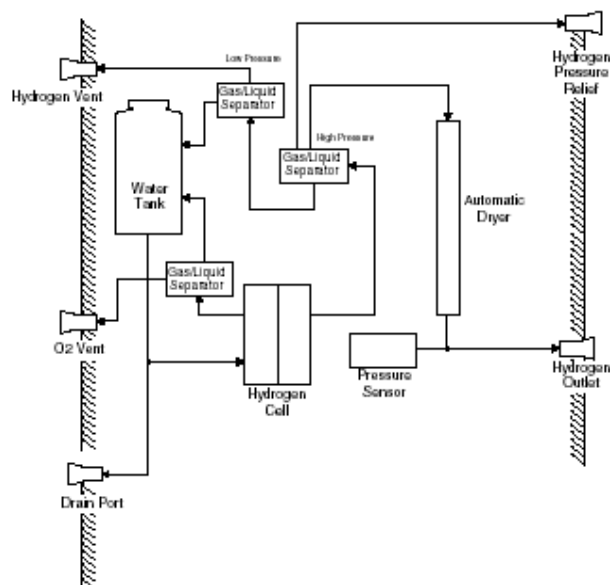
### 3.7 Wasserstoff-Generator NMH2-1000

Dieses Modell ist hier im Labor verwendet.

Reines Wasserstoffgas-Generator verwendet NMH2 Membrantechnologie erhältlich für die elektrolytische Erzeugung von reinem Wasserstoffgas. Es ist ein Wasserstoff-Generator (Elektrolyseur, PEM). Hydrogen Generator trennt das destillierte Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff. Max 1.0sl/min H<sub>2</sub> Flussrate, die maximale Ausgangsdruck von 10



bar. Neben vielen anderen Anwendungen NMH2 Wasserstoff-Gas-Generator lässt sich berechnen Metall-Hydrid-Lagertanks. Die Kombination von Wasserstoffdruck von Lieferzeiten, bis zu 10 bar und Wasserstoff-Reinheit von 99,999% wird für notwendig erachtet wird.



Funktionsschema

## **4. SIMULATIONSMODELL**

Um bestimmte Komponenten und Systeme simulatorisch zu untersuchen, gibt es drei grundsätzlich unterschiedliche Aufgabenstellungen:

- Die Simulation der Komponente an sich mit Hilfe physikalischer oder chemischer Gleichungen, wobei die Umgebung der Komponente aufgrund der hohen benötigten Rechenzeit nur in geringem Ausmaß beachtet werden kann.
- Die Simulation von Systemen, in denen die Einzelkomponenten nur ideal betrachtet werden, wodurch genauere Informationen über das reale Verhalten der Komponenten im System nicht gewonnen werden können.
- Untersuchung, Entwurf und Optimierung des Systems mit Hilfe geeigneter Netzwerkmodelle für die verwendeten Komponenten, die in das zu untersuchende System-Netzwerk eingebunden werden.

Bisherige Modelle für Brennstoffzellen wurden im wesentlichen zur Erfassung und zum Verständnis der inneren elektrochemischen Vorgänge erstellt, dienen also vorwiegend der Optimierung der Elektroden-elektrolyt-Einheiten. Sie basieren auf thermodynamischen und physikalisch-chemischen Gleichungssystemen und sind deshalb der ersten Simulationsgruppe zuzuordnen. Mit Hilfe eines Porenmodells zusammen mit den entsprechenden Gleichungen für die Vorgänge in dieser Pore könnte eine Übertragung in ein elektrisches Ersatzschaltnetzwerk vollzogen werden, jedoch lassen sich diese Modelle aufgrund ihres Aufwandes und der versuchten exakten Nachbildung der inneren Brennstoffzellen-Vorgänge durchaus noch der ersten Simulationsart zuschlagen.

Beide betrachten nur eine Einzelzelle unter verschiedenen Betriebsbedingungen, gehen aber nicht auf eine Ankopplung der Brennstoffbatterie an einen geeigneten Verbraucher ein. Dabei verwenden sie zudem unterschiedliche Modelle für statische und transiente Vorgänge. Des weiteren versagt das angenommene Porenmodell bei hydrophobierten Elektroden, was die Allgemeingültigkeit dieser Modelle stark einschränkt.

Da es in dieser Arbeit jedoch weder um das Verständnis der inneren Vorgänge einer Brennstoffzelle, noch um eine Optimierung dieser Einzelkomponente geht, sondern vielmehr eine optimale Ankopplung der Leistungselektronik an die Brennstoffbatterie und somit eine Optimierung des System unter Berücksichtigung der Eigenschaften der beteiligten Komponenten erreicht werden soll, ist hier eine Simulation gemäß der dritten aufgeführten Simulationsart wesentlich sinnvoller. Ein entsprechend erstelltes Brennstoffbatterie-Modell kann dann als Werkzeug eingesetzt werden, um den eigentlich interessierenden Stromrichter im Zusammenspiel mit der energieliefernden Komponente simulatorisch zu untersuchen. Wichtig dafür ist, dass das klemmenverhalten der Brennstoffbatterie sowohl statisch als auch transient mit hinreichender Genauigkeit nachgebildet wird, ohne die Rechenkapazität des Simulationsrechners über Gebühr zu beanspruchen. Von Vorteil wäre zudem, wenn sich die Parameter des Modells anhand einfach durchzuführender Messungen an den Klemmen der Brennstoffbatterie ermitteln ließen, ohne näheres Wissen über den internen Aufbau der Zellen haben zu müssen.

Zur Erstellung eines solchen Modells soll in zwei Schritten vorgegangen werden. Zunächst wird die Zelle oder die Batterie quasistatisch nachgebildet, um eine Arbeitspunkteinstellung zu ermöglichen. Da die quasistatische Kennlinie der Brennstoffzelle jedoch nichtlinear ist, lässt sie sich nicht allein über lineare Netzwerke nachbilden. Um den Rechenaufwand zu begrenzen, sollte hier ein möglichst einfacher, funktionsmäßiger Ausdruck in Verbindung mit linearen Schaltelementen eingesetzt werden. Im zweiten Schritt wird das so erstellte statische Modell um lineare Elemente, die die vorkommenden Transienten nachbilden können, ergänzt.

Da die statische Kennlinie einer Brennstoffzelle wesentlich durch die dort aufgeführten Polarisierungen und Überspannungen beeinflusst wird, ist es für den ersten Schritt der Modellerstellung notwendig, diese formelmäßig zu erfassen. In der Elektrochemie werden die notwendigen Gleichungen jedoch im allgemeinen für jede Halbelektrode einzeln angegeben, wodurch die notwendigen Parameter nicht durch eine Messung direkt an einer Brennstoffbatterie ermittelt werden können. Eine genauere Betrachtung der Vorgänge an den Halbelektroden zeigt jedoch, dass für die Nichtlinearität der Brennstoffzellen-Kennlinie vorwiegend die Sauerstoffelektrode verantwortlich ist. Die stark gehemmten und dadurch stark irreversiblen Teilreaktionen führen hier zu vergleichsweise hohen Verlusten. Für das transiente Verhalten hingegen braucht nur die Wasserstoffelektrode betrachtet zu werden, da die Zeitkonstanten hier durch die hohen Adsorptionsraten des Wasserstoffs an der Elektrodenoberfläche maßgeblich bestimmt werden. Eine Bestimmung der jeweiligen Parameter kann also aufgrund der näherungsweisen Entkopplung sowohl statisch als auch transient anhand von Messungen an der Gesamtzelle durchgeführt werden.

Für die Ermittlung der statischen Kennlinie ist zunächst zu untersuchen, ob gewisse vereinfachende Annahmen gemacht werden können.

Nimmt man an, dass die betrachtende Brennstoffzelle bei einer definierten, fest einzuregelnden Temperatur betrieben werden kann, so können sämtliche Temperaturabhängigkeiten der einzelnen Polarisationsarten vernachlässigt werden, was aber bedeutet, dass das Modell nur für eine Temperatur Gültigkeit hat. Da in realen Betrieb einer Brennstoffbatterie mit Ausnahme der An- und Abfahrvorgänge eine Temperaturregeleinrichtung gegen die Überhitzung der Batterie eingesetzt wird, ist diese Einschränkung für ein einfaches Simulationsmodell sicherlich vertretbar. Setzt man ferner einen nahezu idealen Elektrolyten voraus, so kann die Reaktionspolarisation aufgrund von Verdünnungen des Elektrolyten vernachlässigt werden. Dies kann für nicht zu hohe Stromdichten, die für den Normalbetrieb einer Brennstoffzelle kennzeichnend sind, in hinreichender Genauigkeit angenommen werden. Ausschlaggebend für die Brennstoffzellen-Kennlinie sind dann neben der Ruheüberspannung, die im Modell durch eine entsprechend reduzierte ideale Gleichgewichtsspannung berücksichtigt werden kann, die Diffusionsüberspannung, die Durchtrittspolarisation und die Widerstandspolarisation. Letztere kann aufgrund ihres ohmschen Charakters durch einen konstanten ohmschen Widerstand in Reihe zur idealen Spannungsquelle nachgebildet werden. Die Größe dieses Widerstandes kann durch Ausnutzen der Tatsache, dass die physikalisch-chemischen Vorgänge wesentlich langsamer ablaufen als die elektrischen, aus dem Verlauf der ersten Millisekunden eines Lastsprunges ermittelt werden. Zu untersuchen bleiben jetzt noch Diffusionsüberspannung und Durchtrittspolarisation.

Die Stromspannungskurve einer Elektrode ist unter der Voraussetzung, dass keine andere Polarisation vorliegt als die der Durchtrittspolarisation, durch den folgenden Zusammenhang gegeben:

$$j^* = j_0 \left[ e^{\frac{\alpha z F}{R_G \vartheta} \eta_D} - e^{-\frac{(1-\alpha) z F}{R_G \vartheta} \eta_D} \right]$$

$j_0$  ist dabei die Austauschstromdichte, die sich im stromlosen Zustand der Elektrode, also im Gleichgewichtszustand an der Dreiphasengrenze einstellt.

$\alpha$  ist der Durchtrittsfaktor.

$z$  die Durchtrittswertigkeit.

$R_G$  die allgemeine Gaskonstante.

Für größere kathodische Durchtrittspolarisationen der Sauerstoffelektrode kann die anodische Gegenreaktion vernachlässigt werden und es ergibt sich

$$j^* = -j_0 e^{\frac{(1-\alpha) z F}{R_G \vartheta} \eta_D}$$

Oder umgeformt die Durchtrittspolarisation in Form der einfachen „Tafelschen Gerade“

$$\eta_D = a + b \cdot \log |j^*|$$

Der stromunabhängige Term  $a$  kann wie die Ruheüberspannung der idealen Spannungsquelle zugeschlagen werden, so dass nur der Faktor  $b$  als bestimmender Parameter für die Durchtrittspolarisation übrig bleibt.



Für die Konzentrationsabhängige Diffusionsüberspannung kann die Nernstsche Gleichung herangezogen werden. Danach ergibt sich für diese der Zusammenhang:

$$\eta_d = -\frac{R_G \vartheta}{\nu F} \ln \left( 1 - \frac{j^*}{j_{gr}} \right)$$

Dabei ist  $j_{gr}$  die Grenzstromdichte, bei dem die Konzentration der transportieren Substanz am Ende der Diffusionsstrecke gerade zu Null wird. Er lässt sich experimentell aus dem Kurzschlussstrom der Zelle unter Berücksichtigung von Durchtritts- und Widerstandpolarisation ermitteln.

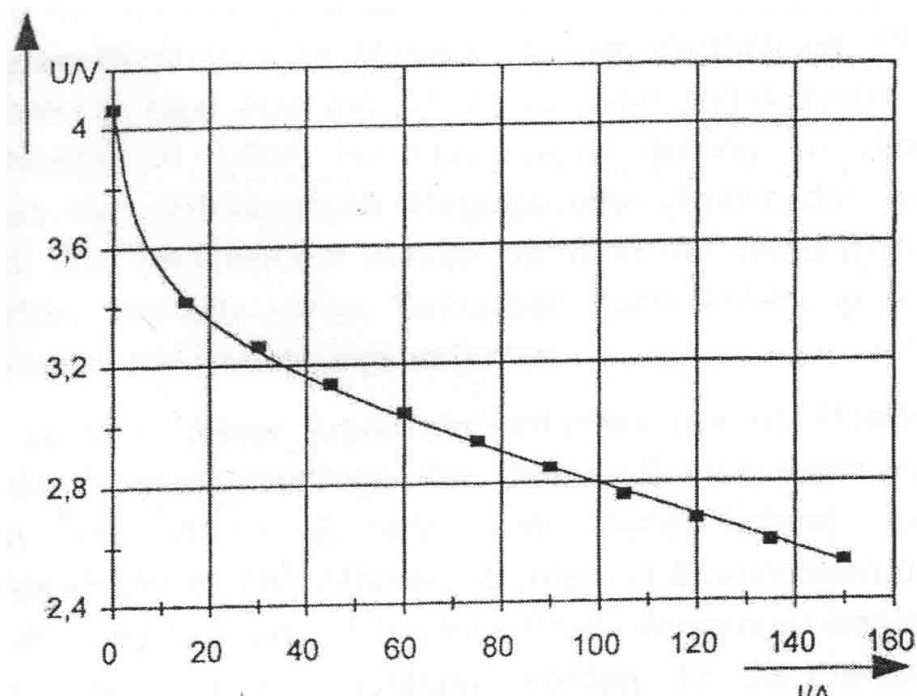
Mit  $j=j^*$  für den rein statischen Fall und nach Umrechnung der Stromdichten auf eine konkrete Zellenfläche, lässt sich die statische Kennlinie einer Brennstoffzelle bzw. die entsprechende Kennlinie einer aus den Zellen gebildeten Batterie somit durch die folgende Beziehung darstellen:

$$U_{Bz} = U_{Bz}(0) - R I - \eta_D - \eta_d = U_{Bz}(0) - R I - b \log |I| + c \ln \left( 1 - \frac{I}{I_{gr}} \right)$$

Im Teillastbereich überwiegt der nichtlineare Teil der Durchtrittspolarisation, so dass für die meisten Betrachtungsfälle eine weitere Vereinfachung durch Vernachlässigen der Diffusionsüberspannung möglich ist. Dies trifft umso genauer zu, je dünner die realen Elektroden ausgeführt sind.

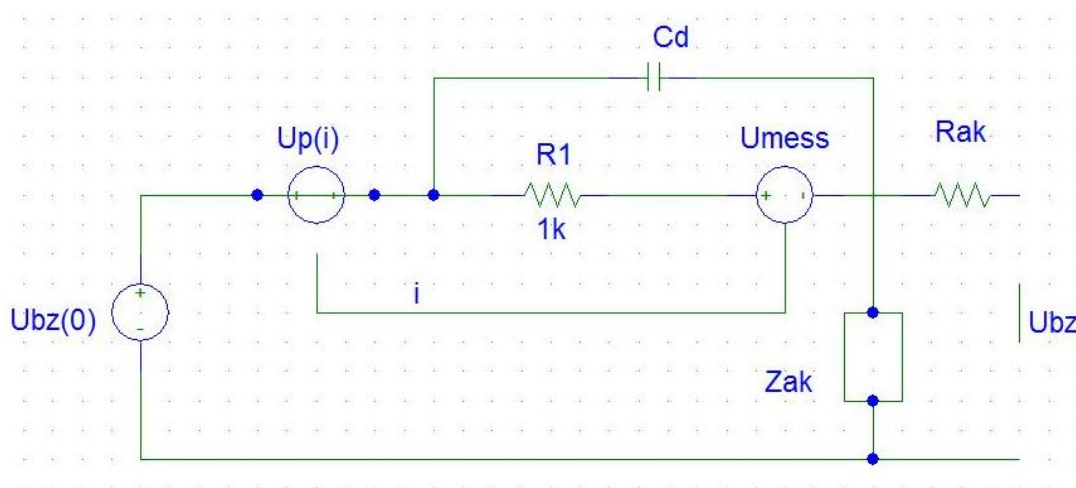
Ein Vergleich zwischen einer gemessenen und der simulierten statischen Brennstoffbatterie-Kennlinie zeigt eine gute Übereinstimmung den funktionalen Zusammenhangs mit der Wirklichkeit.

Der relative Fehler beträgt über der gesamten Kennlinie weniger als 0.6%. Bei Verwendung der Spannungs-Gleichung ist jedoch zu beachten, dass bei der Durchtrittspolarisation die Gegenreaktion vernachlässigt wurde, der Strom  $I$  somit nicht gegen Null gehen darf. In der Praxis zeigte sich, dass Stromwerte oberhalb von 0,6% der Nennlast unproblematisch für das simulierte Verhalten sind, sich also aufgrund der gemachten Vereinfachung praktisch keinerlei Einschränkungen für die gewünschten simulatorischen Untersuchungen ergeben.



Für das transiente Verhalten ist wie bereits erwähnt vor allem die Wasserstoff Elektrode geschwindigkeitsbestimmend. Die Aktivierung des zugeführten molekularen Wasserstoffs zu elektrochemisch reaktionsfähigen Protonen geschieht hier über das Zwischenstadium einer dissoziativen Chemisorption, während der die adsorbierten Wasserstoffatome an die Katalysatoroberfläche gebunden sind.

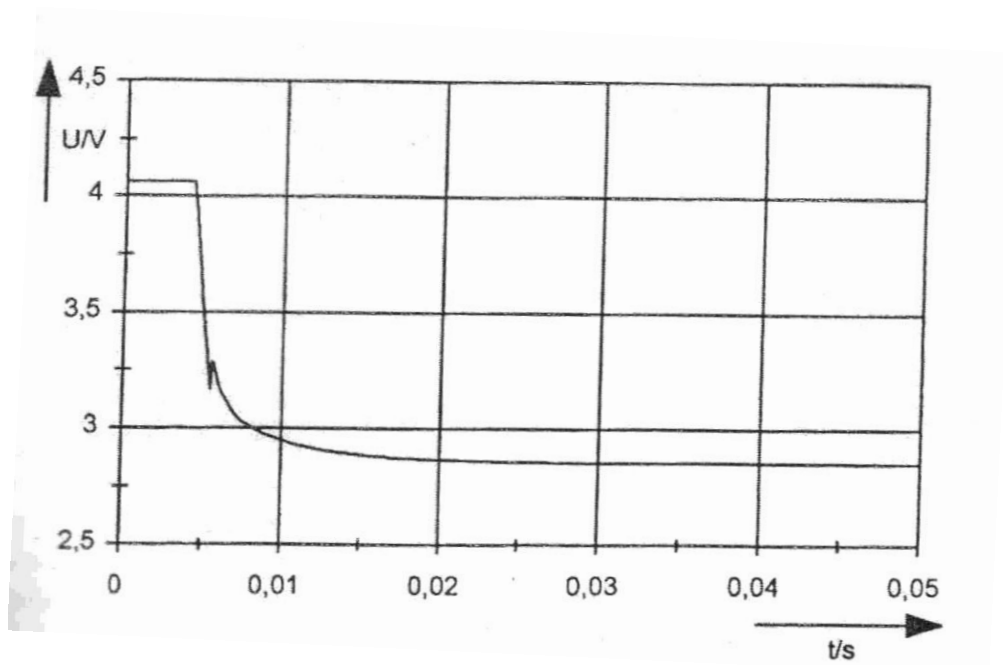
Diese so gebundenen Wasserstoffatome kommen einem Brennstoffvorrat gleich, der ähnlich der Ladung auf einem Kondensator mit einer bestimmten Zeitkonstante auf- und entladen werden kann. Gemessen Lastsprünge an Brennstoffbatterien zeigen denn auch ein stark kapazitives Verhalten. Bei sehr hohen Frequenzen kann neben dem stromabhängigen Durchtrittsstrom auch ein nichtstationärer Strom über die Kapazität der Helmholtzschen Doppelschicht fließen. Da dieser Anteil keinen Einfluss auf die Polarisierungen hat, wird der Strom  $i^*(t)$  zur Ermittlung der Spannungsabfälle aus dem Zweig parallel zum Kondensator  $C_d$  entnommen. Bei den in dieser Arbeit zu berücksichtigenden Frequenzen kann dieser Kondensator jedoch vernachlässigt werden.



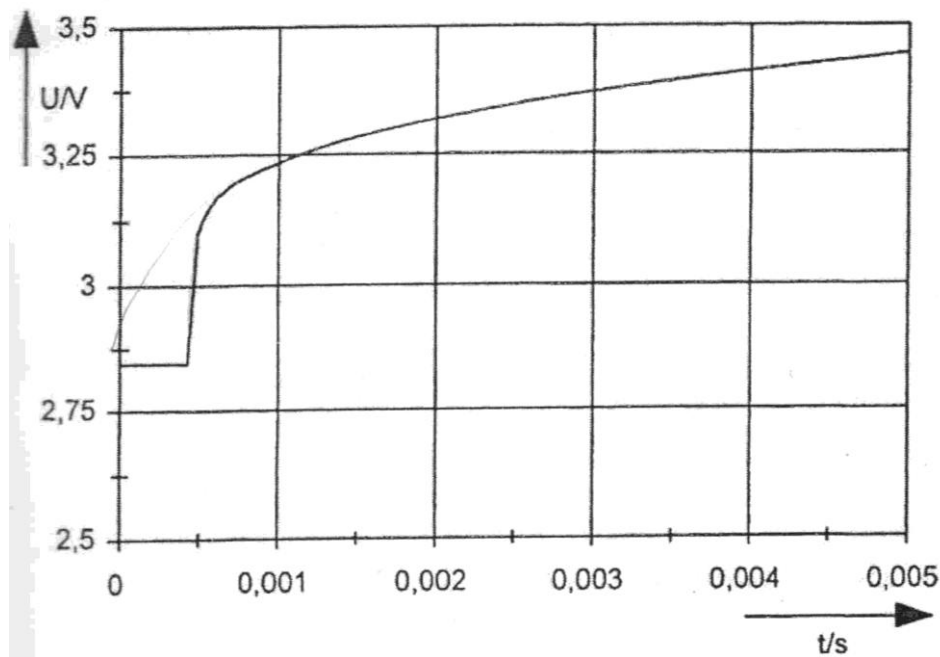
Ein Vergleich zwischen gemessenen und simulierten Verhalten einer vierzelligen Brennstoffbatterie bei Lastsprüngen ist auf den folgenden Seiten. Es zeigt sich wie bei den statischen Simulationen eine ausreichende Übereinstimmung des Modells mit der Wirklichkeit. Bei den Messungen wurde eine elektronische Last über ein Schütz zu- oder abgeschaltet.

Dabei ist während des Lastaufschaltvorgangs 0-90A ein kurzzeitiger Sprung im Spannungsverlauf zu erkennen, der auf die unzulängliche Regelgeschwindigkeit der elektronischen Last zurückzuführen ist. Der regelverlauf konnte während der Simulation nur unzureichend nachgebildet werden.

Ingesamt wurde somit in dieser Arbeit ein Brennstoffbatterie-Modell erstellt, was zwar nicht die inneren Vorgänge der Batterie-Einheit exakt nachbildet, aber im Klemmenverhalten der realen Batterie sehr nahe kommt.

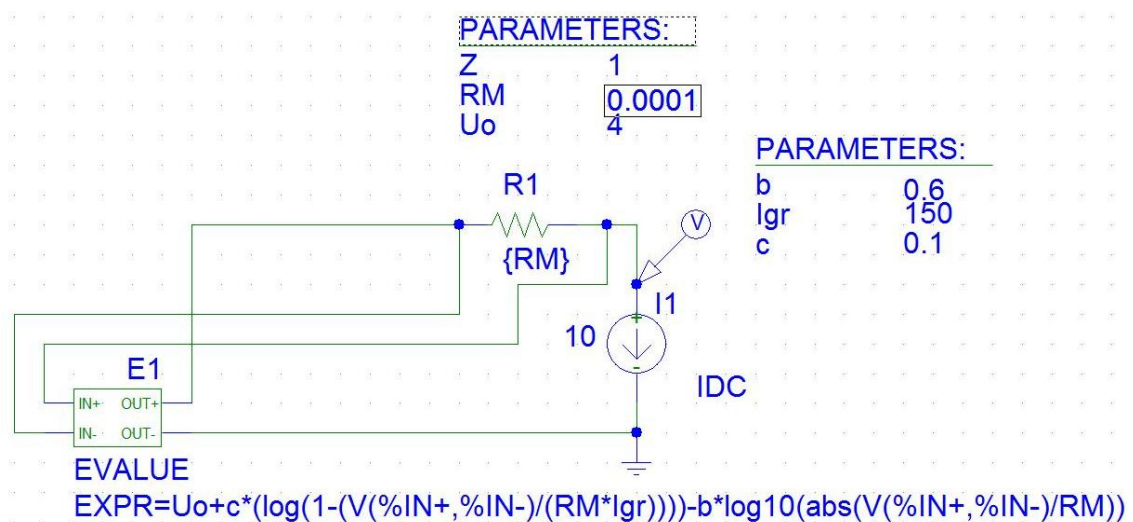


Gemessener Lastsprung (0-90A)



Gemessener Lastsprungs (0-90A)

Zur Durchführung dieser Arbeiten sollten den Wert der Variablen in der Gleichung vorgeschlagen wissen, ist, als Vorbild genommen. Dafür, Programme und P-Spice Mathcad. Mit ihnen schätzten wir den Wert der Variablen  $b$ ,  $c$  und  $R$  für den Graphen ist, dass theoretisch gewonnenen assimiliert.



Die endgültige Schlussfolgerung ist, dass die Variablen sollten die folgenden Werte:

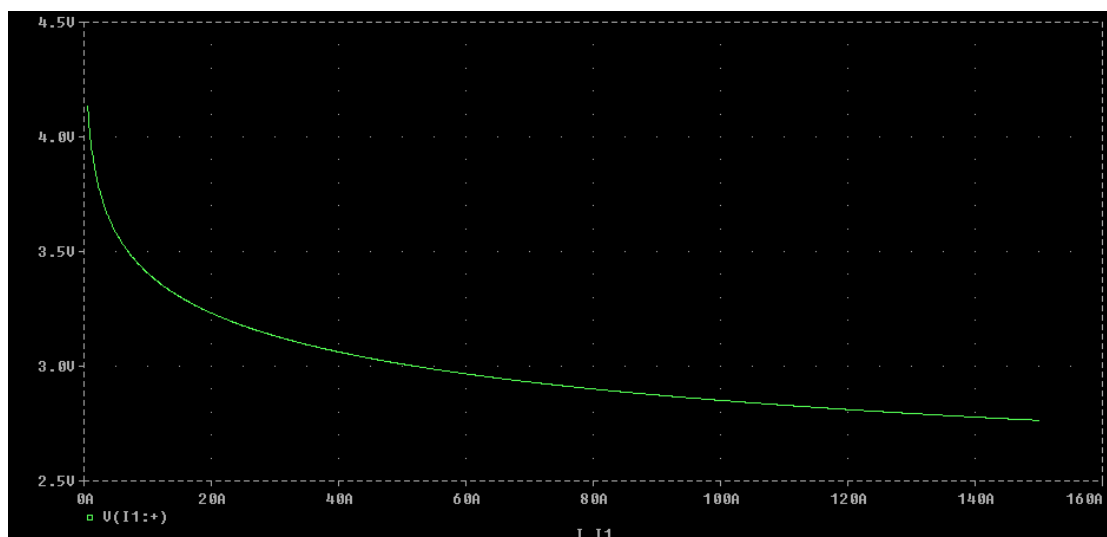
$$b=0.6$$

$$c=0.1$$

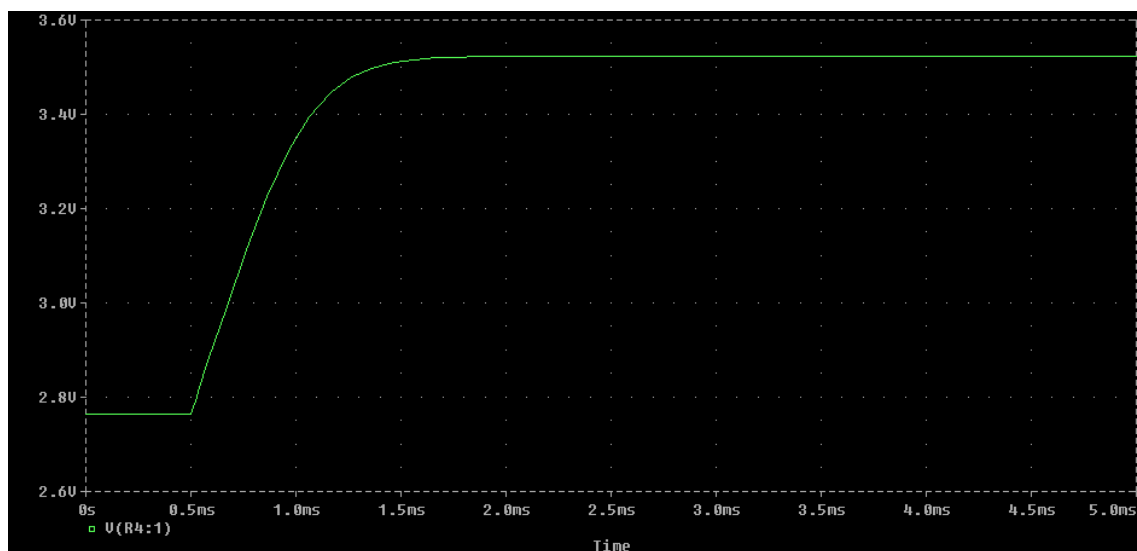
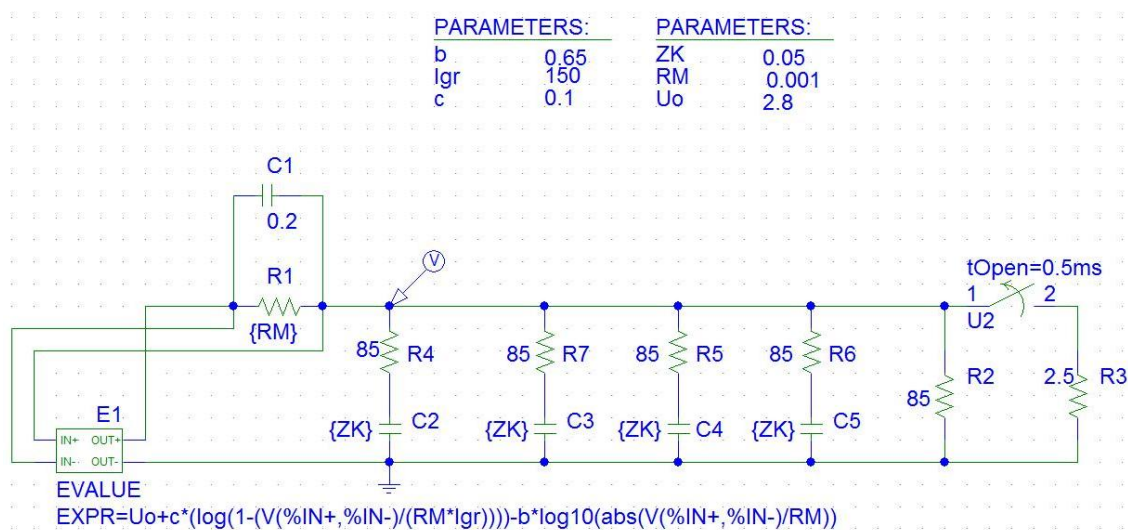
$$R=0.0001$$

Ich behaupte, dass variiert von 0 bis 150A, die Eingangsspannung U (0) ist 4V und Igr 150.

Mit all diesen und setzen die Daten an den P-SPICE-Programm gibt einen Graphen sehr ähnlich zu den theoretischen, so dass die gefundenen Werte für diese Parameter können als gültig angesehen werden.

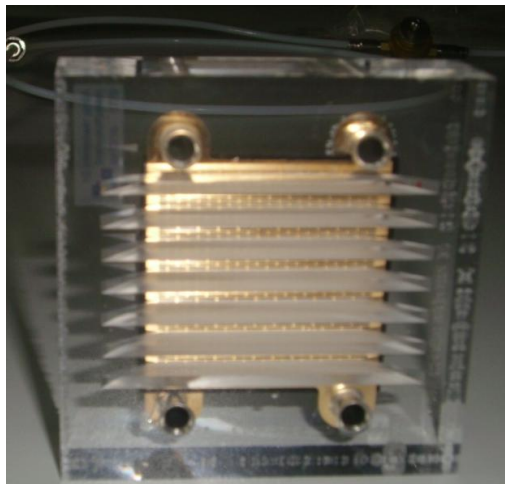


Es wurde auch in der Lage, den Graphen der Kurve der Spannung zu springen und wieder einmal zeigt, schätzen die Ähnlichkeit mit den theoretischen. Das Layout und die Grafik hier, um die Serie von vier Kondensatoren parallel gezeigten entsprechen, aber es hat sich gezeigt, dass die Variation der Sprung minimal ist auch unter weniger Kondensatoren parallel.



## 5. BRENNSTOFFZELLE BZ12/16

Eine Brennstoffzelle für die Entwicklung dieser Arbeit verwendet wurde BZ12/16 Brennstoffzelle H<sub>2</sub>-Speicher mit MHS-20.



Die Brennstoffzelle BZ12/16 ist eine Niederdruck-, Niedertemperatur-, selbstatmende Brennstoffzelle. Sie benötigt als Brennstoff reinen Wasserstoff und zur Oxydation nur Luft, bzw. den in der Luft enthaltenen Sauerstoff. Wasserstoff ist der einfachste Stoff den wir kennen. Als Atom besitzt er nur 1 Proton und 1 Elektron. Normalerweise kommt er in der Natur als Wasserstoffmolekül vor. Dieses besteht aus 2 Wasserstoffatomen.

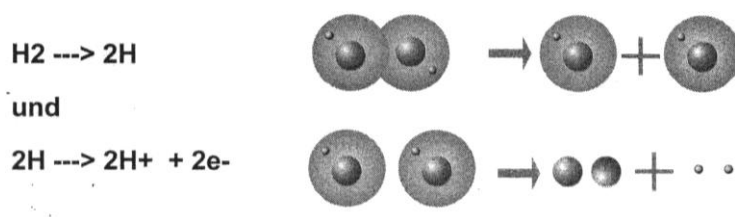




Wesentlich komplizierter ist der Sauerstoff mit seinem Kern und mit seinen, für chemische Bindungen so wichtigen 6 Elektronen auf der Valenzschale. Die noch zum Edelgascharakter fehlenden 2 Elektronen können z.B. von 2 Wasserstoffatomen unter Bildung von Wasser zur Verfügung gestellt werden.

Die Vorgänge im Einzelnen sind wesentlich komplizierter als eine Summenformel aussagt. In vereinfachter Darstellung kann man sich die Funktion einer Brennstoffzelle so vorstellen: der Wasserstoff wird der Zelle angeboten. Er liegt zunächst in molekularer Form vor und ist deshalb nicht reaktionsfähig.

Er muss also in den atomaren Wasserstoff überführt werden. Dies geschieht bei Raumtemperatur mit Hilfe von Katalysatoren. Platin in Pulverform, mit extrem großer Oberfläche eignet sich besonders gut. Aus einem Wasserstoffmolekül sind nun 2 freie Wasserstoffatome geworden. An der Wasserstoffelektrode, bzw. im Bereich des Katalysators und der Oberfläche zum Elektrolyten findet folgende chemische Reaktion statt:

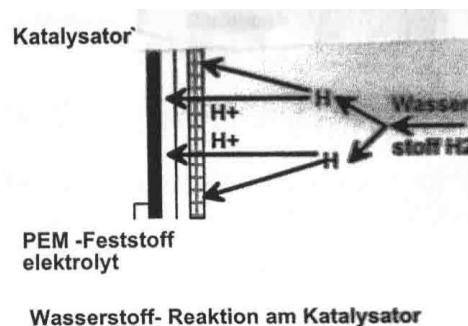
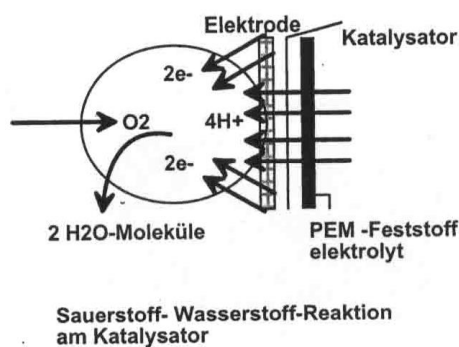


Jedes Wasserstoffatom gibt sein Elektron ab und wandert als Wasserstoffion ( $\text{H}^+$ ) durch den Elektrolyten, einem "Feststoffelektrolyten", eine Polymerfolie, die dem Teflon ähnlich ist.

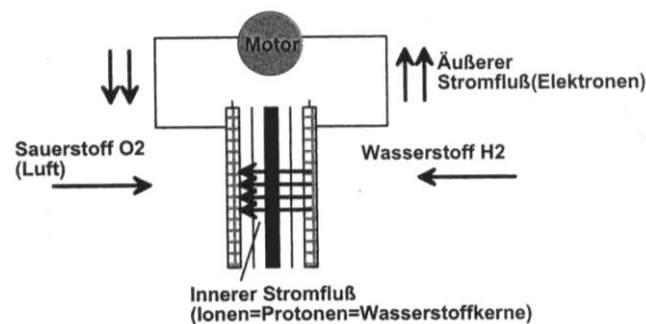
Das Wasserstoffion ist der positiv geladene Kern des Wasserstoffes und wird Proton genannt. Daher stammt auch die Membranbezeichnung: PEM (Proton-Exchance-Membrane) oder (Polymer- Elektrolyte-Membrane).

Auf der Luftseite, (Sauerstoffseite), wird Luft durch natürliche Zirkulation und Diffusion an dem Übergang Katalysator/Elektrolyt angeboten. Unsere Atemluft besteht aus ca 80% Stickstoff und 20% Sauerstoff. Der Stickstoff verhält sich bei Raumtemperatur chemisch völlig neutral (inertes Gas), jedoch behindert er den Sauerstoff bei seiner chemischen Reaktion. Deswegen benötigt man wesentlich mehr an Luft, als es dem oben genannten Verhältnis ( $N_2/O_2$ ) entspricht. Wie sich der Sauerstoff wirklich weiter verhält, über wie viele Zwischenprodukte er sich mit den Wasserstoffionen verbindet, kann hier nicht näher beschrieben werden.

Vereinfacht kann angenommen werden, dass der Sauerstoff  $O_2$  mit 2 H-Ionen unter Aufnahme von 2 Elektronen sich kurzzeitig zu  $H_2O_2$  verbindet, das unter der katalytischen Wirkung und weiterer Aufnahme von 2 H-Ionen plus 2 Elektronen zu 2 Molekülen Wasser ( $2 \times H_2O$ ) wird.

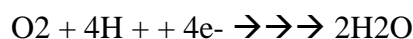


Da bei dem ganzen Geschehen auf der Wasserstoffseite freie Elektronen verfügbar sind und auf der Sauerstoffseite ein großer Mangel an Elektronen herrscht, brauchen nur die beiden Seiten elektrisch verbunden zu werden, um elektrischen Strom fließen zu lassen. Dieser äußere Strom wird durch Elektronen gebildet und kann technische Arbeit verrichten, indem man einen Verbraucher, z.B. Gleichstrommotor in den Stromkreis einbringt. Der Reaktionsprozess kann solange aufrechterhalten werden, solange die beiden Reaktionspartner, Wasserstoff und Sauerstoff, angeboten werden.

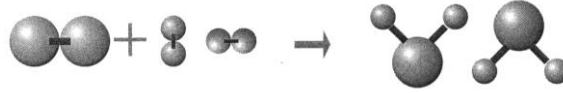


Dem Elektronenstrom ist der innere, gleich große Ionenstrom entgegengerichtet. Dabei werden Wasserstoffkerne als Ladungsträger bewegt. Der angebotene Wasserstoff wird “verbraucht” bzw. mit Luftsauerstoff in reines Wasser umgewandelt.

Die Reaktion auf der Sauerstoffseite lautet, vereinfacht dargestellt:



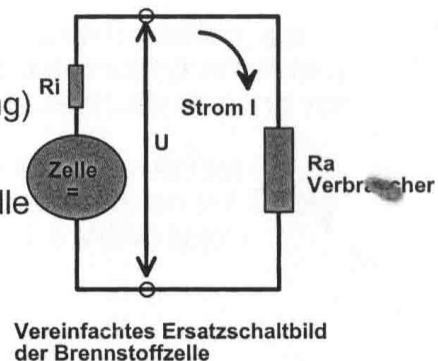
Dabei entsteht eine Spannung von 1.229 Volt.



In der Praxis erreicht die Leerlaufspannung bei einer reinen sauerstoffbeatmung ca 1.05 Volt, anstelle der theoretischen 1.229 Volt. Bei Luftbetrieb können 0.95 Volt erreicht werden. Diese an den Klemmen der Brennstoffzelle zur Verfügung stehende Spannung, als die Nutzspannung, verringert sich bei Belastung in Abhängigkeit des Stromes und innerer Parameter. Die Spannung an einer Brennstoffzelle beträgt:

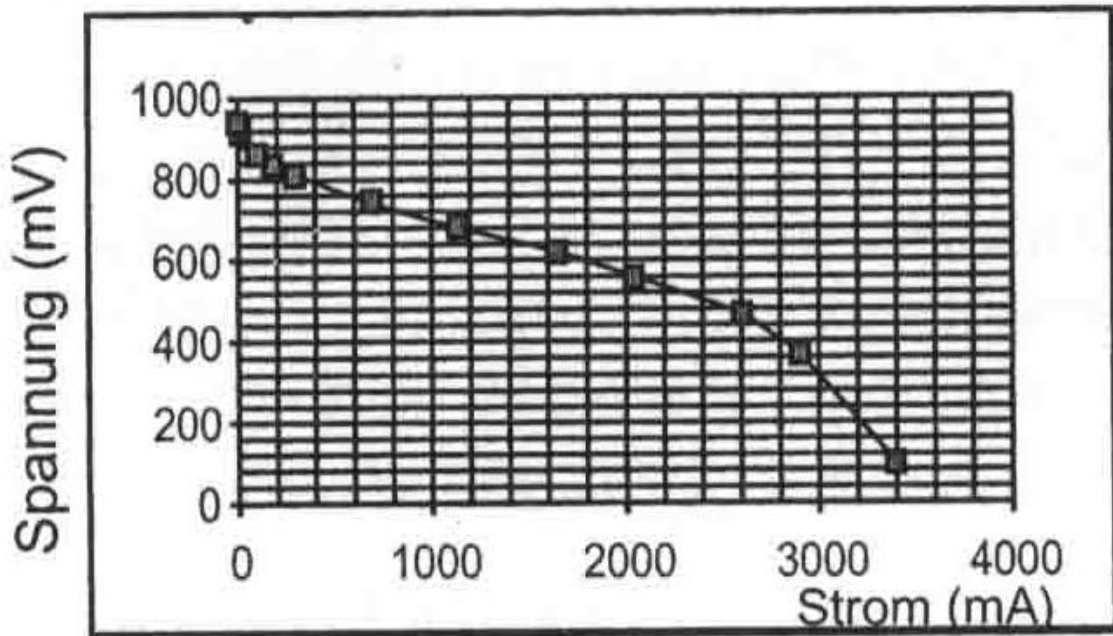
$$U = U_0 - I \times R_i - b_{a,b}$$

mit  $U$  = Nutzspannung (Klemmenspannung)  
 $U_0$  = Leerlaufspannung  
 $I$  = Nutzstrom  
 $R_i$  = Innenwiderstand der Brennstoffzelle  
 $b_{a,b}$  = Brennstoffzellen spezifischer Parameter  
 (Anoden-/Kathoden-Überspannung)



Die Strom-Spannungskennlinie einer Brennstoffzelle gibt über das Lastverhalten Auskunft.

In diesem Werk werden wir nur über die Strom-Spannung-Kennlinie, die, wo wir für die nachfolgenden Jahre berufen konzentrieren.



Die Strom-Spannungs-Kennlinie.

Sie gibt Auskunft über das Lastverhalten der Zelle. Der Arbeitspunkt sollte nicht wesentlich unter 0.5V liegen.

So, hier sind alle theoretischen Daten, die erfüllt werden und wo müssen wir zur Basis gehen. Dann b und c Parameter gesucht werden ideal für diese Art der Brennstoffzelle, die Parameter, die diese Zelle erreicht die theoretische Formel hat im vorstehenden Absatz entwickelt worden zu machen.

Zu diesem Zweck verwendet das Programm Mathcad und nach einer Reihe von Tests ergeben sich folgende Werte:

$$U_0 := 0.929$$

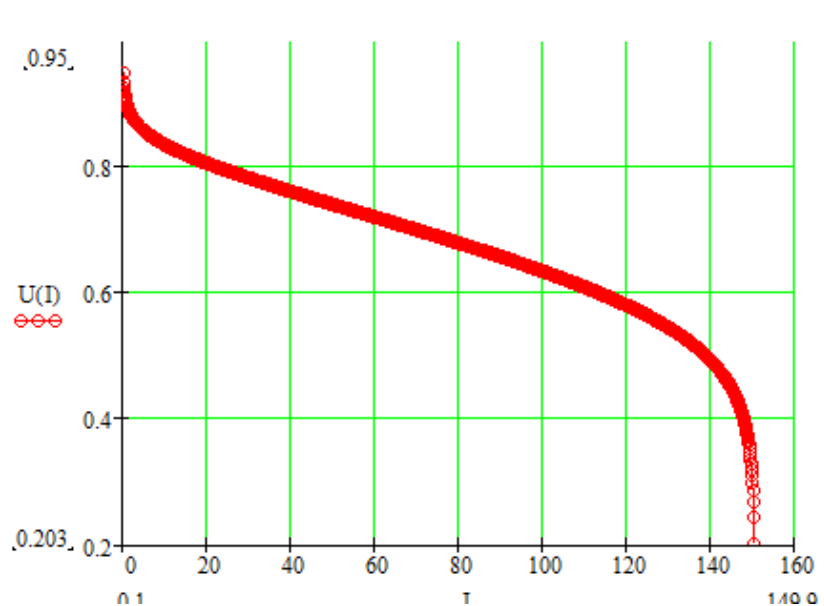
$$I_{gr} := 150$$

$$R_b := 0.001$$

$$b := 0.05$$

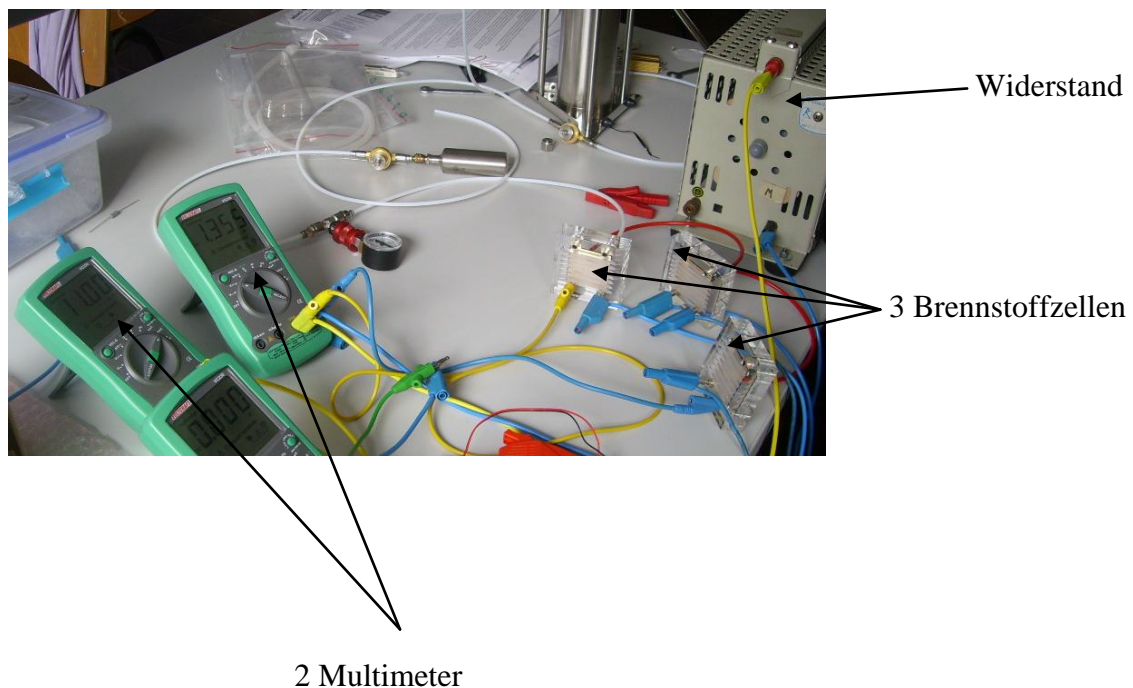
$$c := 0.06$$

Und es wird festgestellt, dass die Kurve ähnlich wie vom Hersteller angegeben wird.



### 5.1 Erste Messung

Im ersten entwickelten Experiment wurde es auf 3 Wasserstoffzellen gezählt. Welche miteinander angeschlossen wurden, damit sie in der Reihe waren. Diese Zellen wurden durch ein Wasserstoffspeicher, vorbildliches MHS-20 der Metallhydridspeicher Weise eingezogen. Zu der Zeit des Maße Conto mit zwei digitalen multímetros, maß man den Strom und den anderen die Spannung.



Zu der Zeit des Bildens das Experiment sah man, daß es aber wirkungsvoll war, wenn nahe den Wasserstoffzellen ein kleiner Entlüfter gesetzt wurden, so dass viel nicht aufgewärmt wird und ihr Ergebnis besser ist.

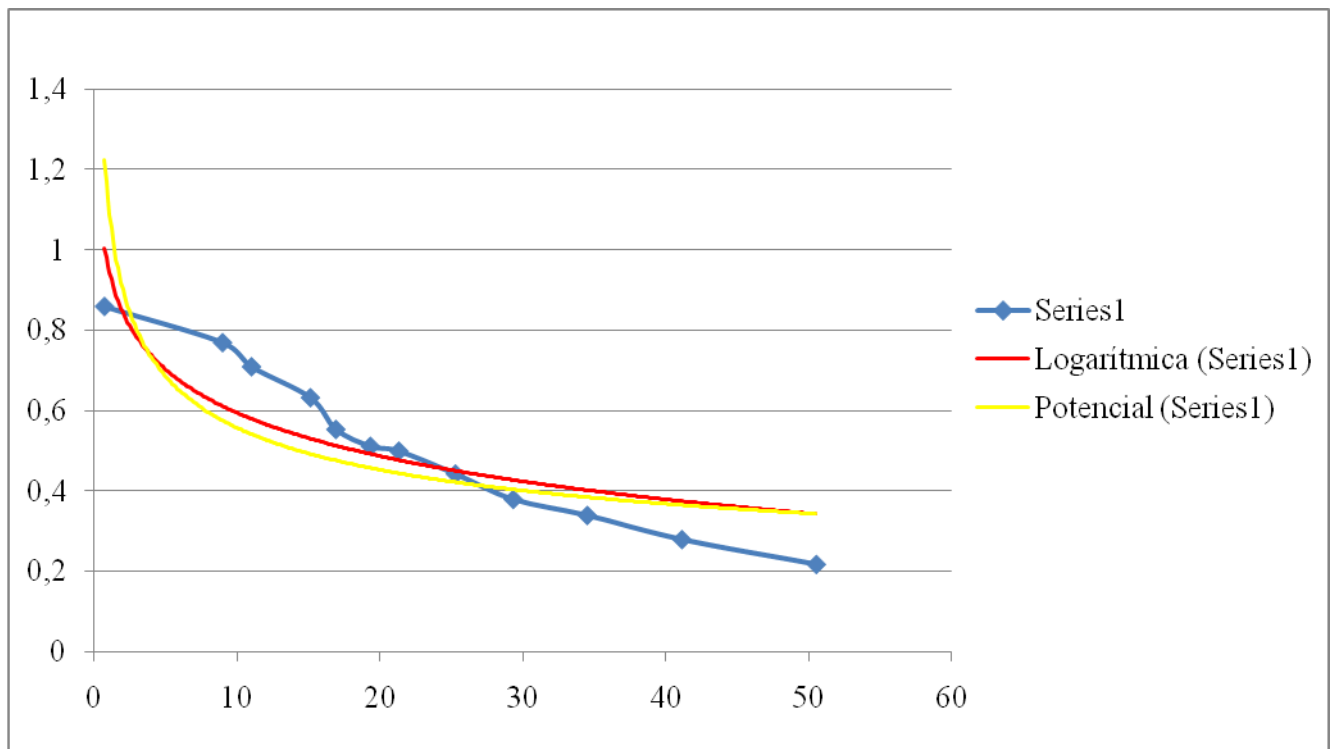
Verwenden Sie auch einen Widerstand, der ging, von 120 Ohm bis herum 0 zu schwanken. Der verwendete Druck lag bei 0.5 Stäben.

Die gesammelten Daten dieses ersten Experimentes sind die folgenden:

V	mA
0,86	0,72
0,77	8,98
0,71	11
0,633	15,12
0,554	16,9
0,512	19,31
0,5	21,31
0,443	25,26
0,38	29,3
0,34	34,48
0,28	41,1
0,218	50,5



Die erreichte Kurve ist folglich:



Da beobachtet zu werden ist möglich, der Kurve, folgt so nicht Parametern, daß der Hersteller zu uns kennzeichnete.

Folglich paßte sich das Zurückweisen der Punkte, denen distan mehr von der logarithmischen Kurve, wir versuchen, die Parameter zu finden, für dieses Experiment an, das uns auf der Eingang Gleichung gründet.

Da die Formel, auf dem wir unsere Basis Simulationsmodell und helfen mit dem Programm Mathcad kann als Parameter b eingesehen werden in mehr als die Hälfte zurückgegangen.

$$U(I) := U_0 - R_b \cdot I - b \cdot \log(|I|) + c \ln\left(1 - \frac{I}{I_{gr}}\right)$$

Die festen Werte sind in diesem Test durchgeführt werden:

$$U_0 := 0.85$$

$$I_{gr} := 30$$

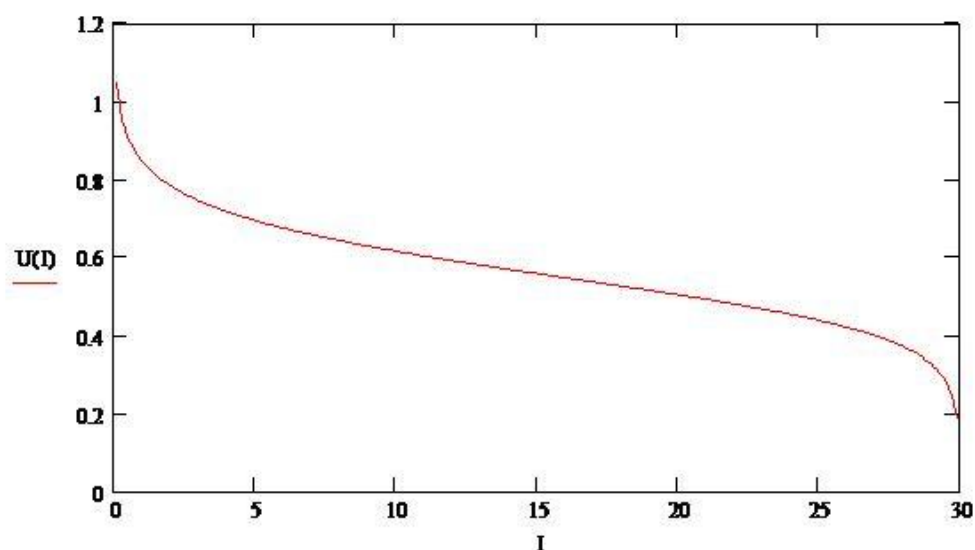
Die Parameter für diesen Fall sind:

$$b := 0.2$$

$$R_b := 0.001$$

$$c := 0.06$$

Die letzte Kurve ist unten gezeigt, wo Sie eine offensichtliche Ähnlichkeit mit dem Hersteller sehen gibt seine Produktpalette.



## 5.2 Zweite Messung

Für die Entwicklung der zweiten von Maßnahmen zu ergreifen, waren aus einem einzigen Brennstoffzelle angeschlossen, um einen variablen Widerstand von 220 Ohm bei 0 zur Verfügung.

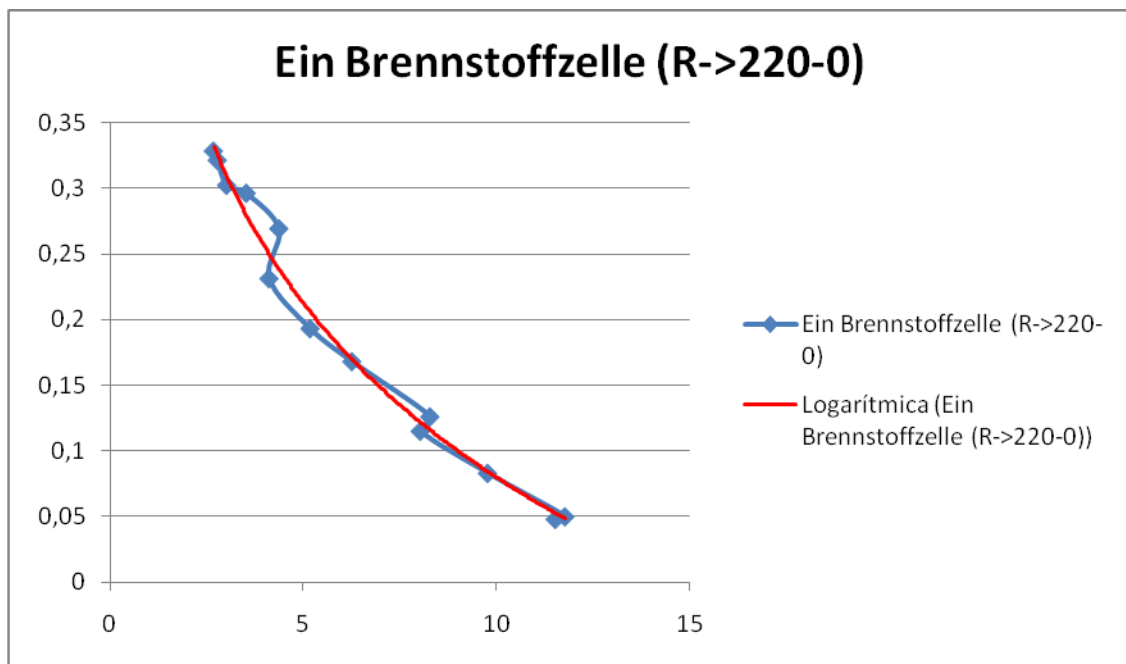
Diese Maßnahme zielt darauf ab, das reibungslose Funktionieren der Brennstoffzelle je nach den verschiedenen Werten des Potentiometers zu gewährleisten.

Dies kann auch erhoben wurden Spannungswerte (V) und Intensität (mA), wie bewegt das Potentiometer auf den Widerstand der Wert abweichen.

Hier können Sie diese Werte in der Tabelle unten.

V	mA
0,328	2,69
0,321	2,79
0,302	3,03
0,296	3,54
0,269	4,38
0,231	4,13
0,193	5,19
0,168	6,27
0,126	8,29
0,115	8,04
0,083	9,78
0,05	11,78
0,048	11,53

Mit diesen Werten leiten wir die Strom-Spannungs-Kurve mit dem Excel-Programm und gibt uns eine Tabelle wie folgt aus. Da die x-Achse die Intensität Werte in Milliampere und die Achse und Spannungswerte in Volt.



Diese Zeit wird nicht als beliebigen Punkt zu entfernen aufgrund seiner Nähe und Ähnlichkeit der Kurve mit einer logarithmischen Klasse gewonnen.

Bei der Suche nach Werten, die Grafik, dass der Hersteller bietet arbeitet mit Mathcad entsprechen. Basierend auf unseren theoretische Formel, so erhalten wir die folgenden Parameter:

$$U(I) := U_0 - R_b \cdot I - b \cdot \log(|I|) + c \ln\left(1 - \frac{I}{I_{gr}}\right)$$

Die festen Werte sind in diesem Messung durchgeführt werden:

$$U_0 := 0.35$$

$$I_{gr} := 13$$

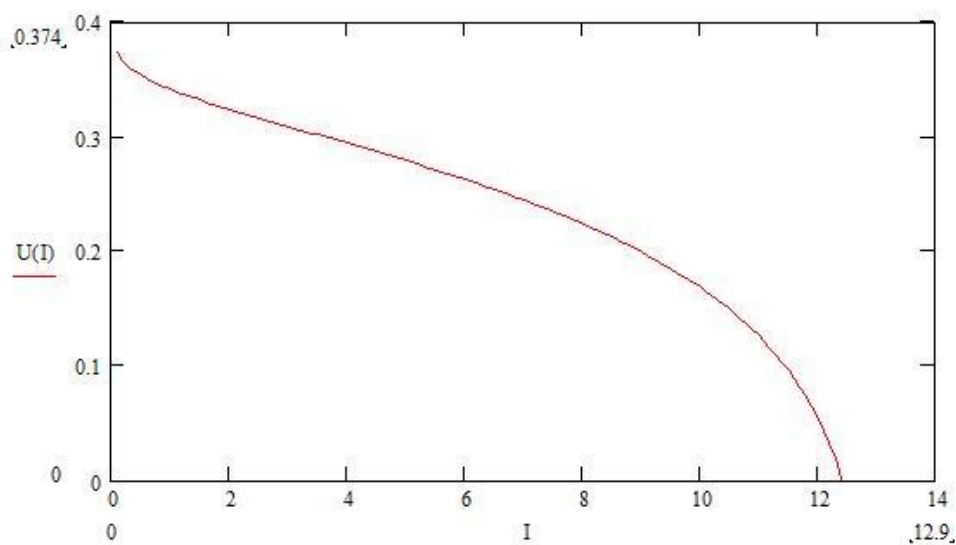
Die Parameter für diesen Fall sind:

$$b := 0.025$$

$$R_b := 0.001$$

$$c := 0.1$$

Und die letzte Kurve erhalten würde als unten gezeigt werden.



Wie Sie sehen können hat die Grafik einen einschneidenden Wandel. Für ein Diagramm ähnlich dem, was der Hersteller für diese Art der Brennstoffzelle bietet, mussten durch die Variablen  $b$  und  $c$  geändert werden.

Diese große Diskrepanz zwischen ihnen kann auf die Notwendigkeit, da die Zelle nicht richtig funktioniert. Vielleicht ist die Umgebung des Labors, wo die Maßnahme sehr voll gemacht damals und beteiligt die Aufnahme der Messungen war.

Wir müssen noch hinzufügen, dass der Hersteller keine funktionierende unterhalb der 0,5 V, die die Werte erhielten wir sind sicher, so können wir sagen, dass die Brennstoffzelle nicht folgen BZ12/16 das Modell für Werte kleiner als 0,5 V.

### 5.3 Dritte Messung

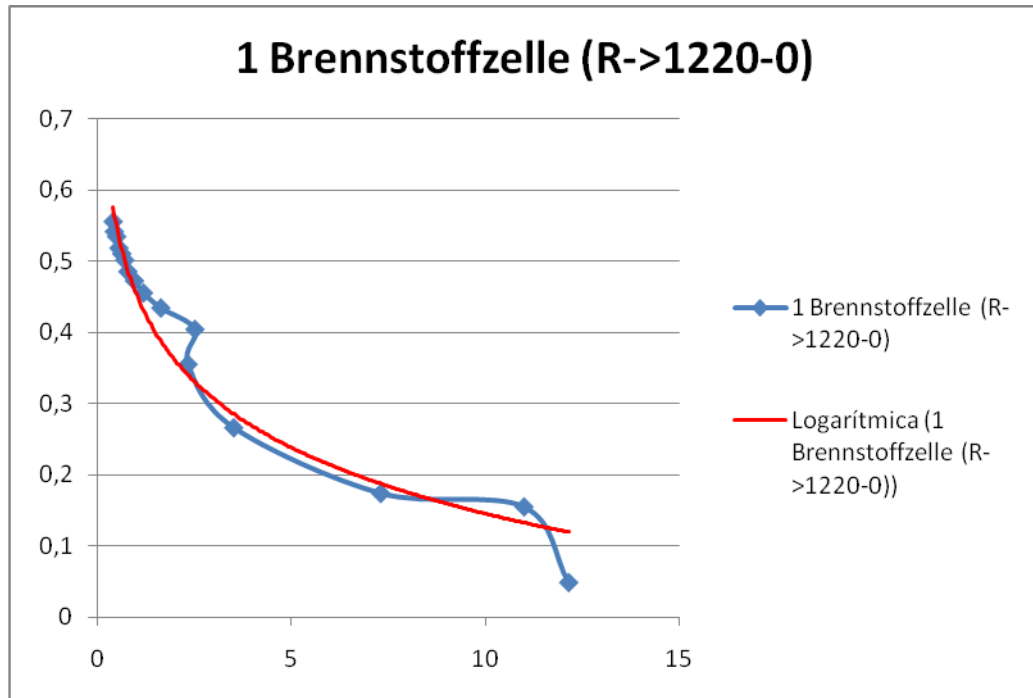
Die dritte Maßnahme wurde erneut mit nur einer Brennstoffzelle getan, aber diesmal hat er ein Potentiometer, die von 1220 bis etwa 0 Ohm variiert werden. Der Druck für die Realisierung getroffen ist immer noch 0,5 bar und Brennstoffzelle entspricht dem Modell BZ12/16.

Um zu überprüfen, für den ordnungsgemäßen Betrieb und seine Ähnlichkeit mit den Daten des Herstellers treffen wieder die Werte von Spannung und Strom für verschiedene Werte des Widerstandes.

Die gewonnenen Daten sind wie folgt:

V	mA
0,555	0,4
0,541	0,43
0,534	0,49
0,518	0,55
0,51	0,62
0,501	0,7
0,485	0,78
0,472	0,95
0,455	1,18
0,434	1,63
0,404	2,51
0,355	2,33
0,266	3,51
0,174	7,3
0,155	11
0,049	12,15

Der entsprechende Graph ist:



In der x-Achse sind die Werte der Spannung in Volt dargestellt und auf der Achse und die Intensität Werte in Milliampere.

Wie Sie die Kurve zu jedem Zeitpunkt mit Ausnahme der Nummer sehen kann folgt einer logarithmischen Kurve.

Zum Zeitpunkt der Erlangung der Parameter entsprechend der Formel sind beide den Punkt Nummer 12 wie 17 verachtet, weil sie zu weichen logarithmische Kurve.

Damit die Werte von b und c entsprechen:

$$b := 0.06$$

$$c := 0.075$$



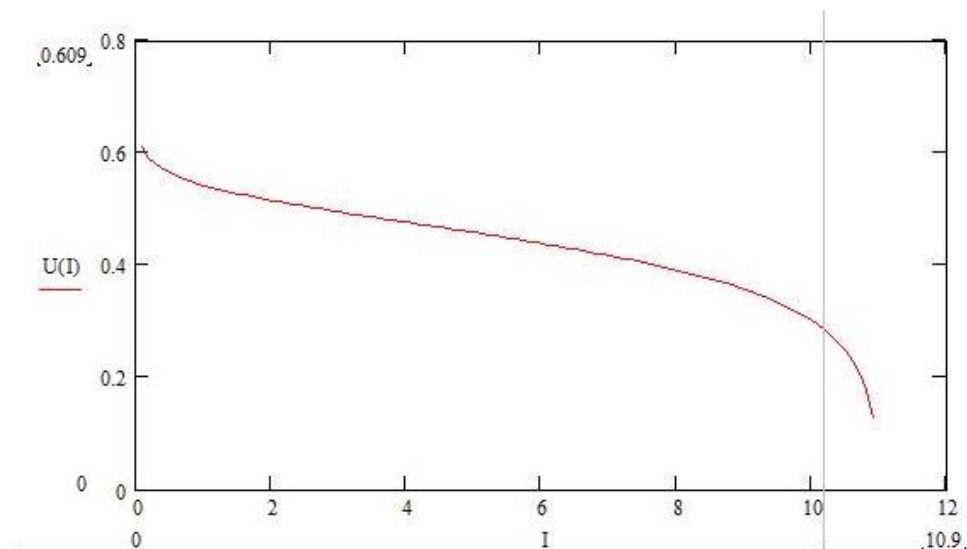
Die festen Werte wurden wie folgt beurteilt:

$$U_0 := 0.55$$

$$R_b := 0.001$$

$$I_{gr} := 11$$

Die Kurve ist also:



In diesem Fall wird die Kurve passt ganz gut um die Kurve hat, beruht. Jedenfalls ist anzumerken, dass die x-Achse entspricht der Intensität Werte sind viel kleiner als jene, die theoretisch gegeben sind. Als die Spannung ist vor allem in folgenden 0.5V konzentriert, sind die Werte nicht vom Hersteller empfohlen.

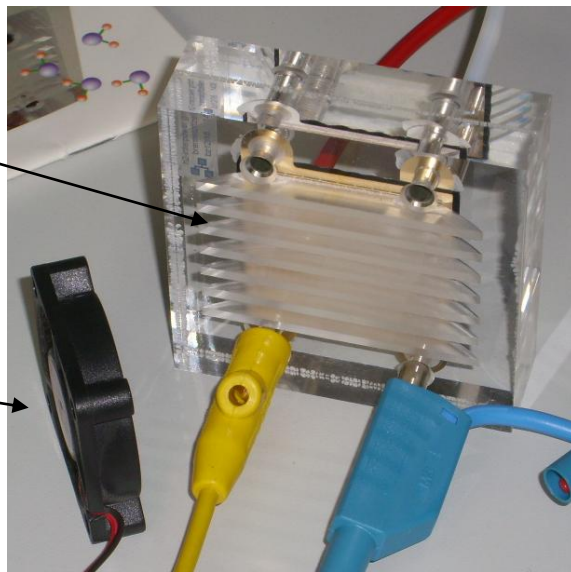
Die Genauigkeit kann nicht sein, weil die Zeit für Daten-Messgeräten nicht geliefert hat einen genauen Wert, wurden aber ständig ändernden seine Maßnahme.

### 5.4 Vierte Messung

Bei der Ausarbeitung der folgenden Maßnahmen wurden mit einem Brennstoffzellen-Typ BZ12/16, ein Potentiometer, das Sie den Widerstand von 1220 Ohm zu variieren erlaubt arbeitete fast 0 und ein Fan, so dass die Brennstoffzelle als auch möglich ist.

Brennstoffzelle

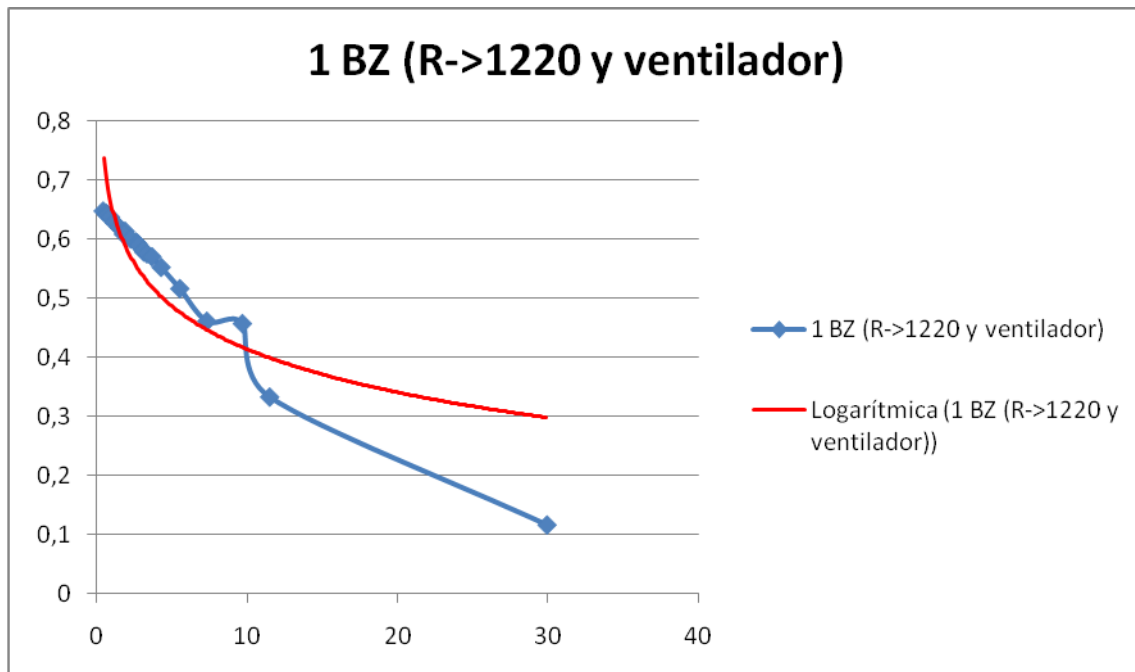
Ventilator



Die Tabelle zeigt acontinuación umfasst die Spannung in Volt und Strom in Milliampere erzielt wurden.

V	mA
0,647	0,47
0,643	0,68
0,641	0,72
0,64	0,75
0,637	0,95
0,628	1,19
0,62	1,51
0,613	1,92
0,608	1,82
0,595	2,62
0,6	2,29
0,593	2,73
0,59	2,81
0,578	3,16
0,581	3,12
0,575	3,37
0,57	3,7
0,552	4,31
0,516	5,55
0,461	7,35
0,457	9,7
0,333	11,51
0,117	29,9

Die Strom-Spannungs-Kurve aus diesen Daten gewonnenen entspricht:



Wie man sehen kann, sind Daten aus dem ersten Teil der Kurve sehr viel kontinuierlicher und folgte und die zweite ist isoliert. Dies mag erklären, warum der zweite Teil der Kurve folgt nicht der logarithmische Kurve weicht nach unten.

Da dies kann irreführend sein, wenn es um die Feststellung der Parameter  $b$  und  $c$ , die definieren, die theoretische Formel kommt, die Ablehnung der letzten 3 Werte.

So schätzt das Programm Mathcad, b und c-Werte in:

$$b := 0.1$$

$$c := 0.15$$

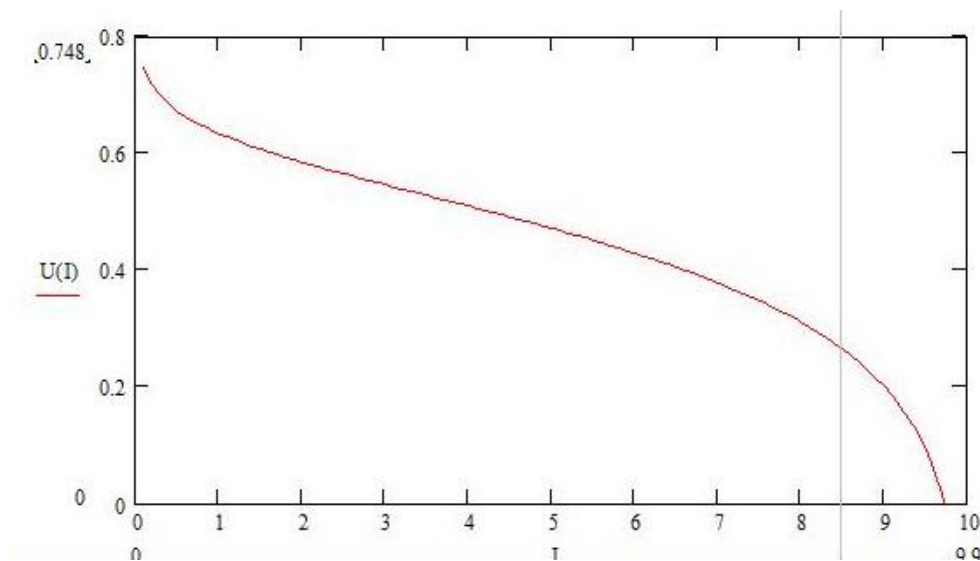
Die festen Werte für diesen Fall sind:

$$U_0 := 0.65$$

$$I_{gr} := 10$$

Und  $R_b$  ist wie in alle Messung 0,001

Die Kurve mit den Parametern mit Mathcad gewonnene ist ein Näherungswert für die theoretische Kurve, wie unten zu sehen.



Diese Kurve zeigt eine höhere Spannung Werte über 0,5V und so kann bedeuten, dass die Brennstoffzelle eine größere Festigkeit und einen Beitrag von extra Belüftung braucht.

### 5.5 Fünfte Messung

Für die nächste Messung ist zwei BZ12/16 Brennstoffzellen und ein Potentiometer, welche Werte von Widerstand von 220 Ohm geben kann auf 0 verwendet.

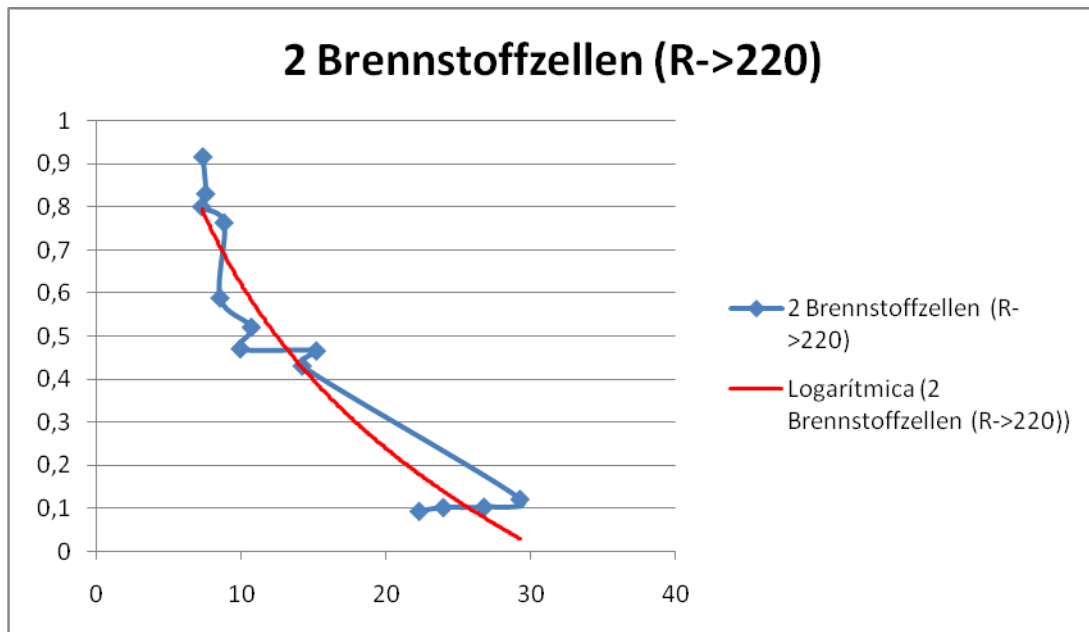
Das Messgerät wie in allen Fällen deutliche 0,5 bar.

In der Tabelle mit den gesammelten Daten ist anzumerken, dass Schritte, um die Spannung und Strom für verschiedene Werte von R. wurden.

Die Daten sind:

V	mA
0,916	7,38
0,83	7,57
0,8	7,3
0,763	8,84
0,588	8,56
0,52	10,73
0,47	9,97
0,465	15,22
0,43	14,24
0,12	29,3
0,102	26,82
0,101	24
0,092	22,33

Der Strom-Spannungs-Kurve mit dem Excel-Programm ist:



Wie Sie diese Kurve sehen, kann nicht sehr gut folgen die logarithmische Kurve. Diese kann aufgrund der Komplexität bei der Aufnahme der Daten, da die Maßnahme unterschiedlich die ganze Zeit und es war nicht möglich, eine genaue Messung bei jeder Änderung des Widerstandes zu sammeln.

Zum Zeitpunkt der Suche nach einer geeigneten C-Werte der oben genannten Formel den beschriebenen Daten gerecht zu werden vernachlässigt elften (0,12 V, 29,3 mA) und die letzte.

Also die Werte, die nicht berücksichtigt werden, sind:

$$U_0 := 0.92$$

$$I_{gr} := 27$$

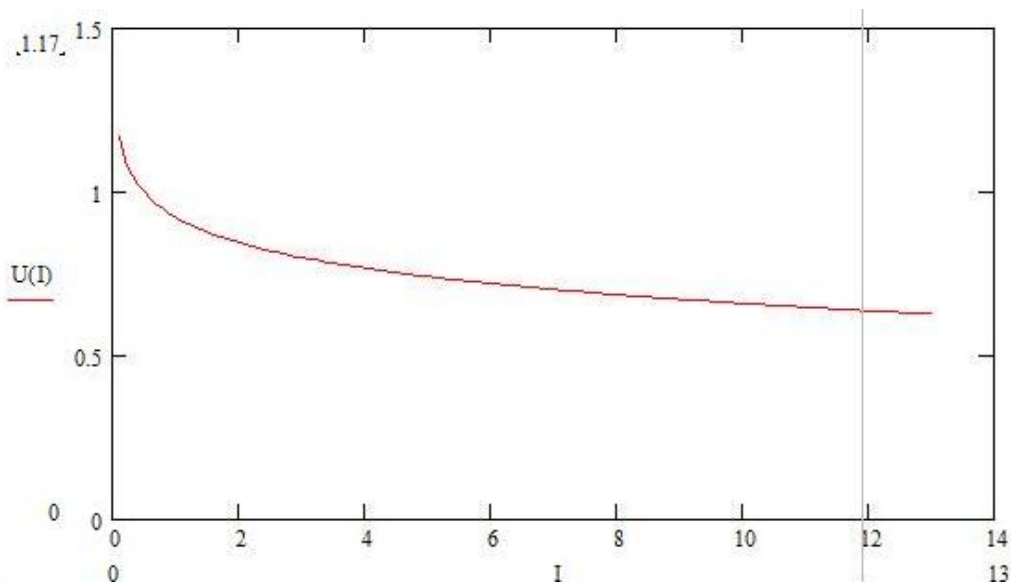
$$R_b := 0.001$$

Die Parameter  $b$  und  $c$  werden von Mathcad-Programm erhalten, so dass der Strom-Spannungs-Kurve gleicht der theoretischen Kurve.

Hier sind sowohl die Werte der Parameter, wie die Grafik erhalten schließlich.

$$b := 0.25$$

$$c := 0.005$$



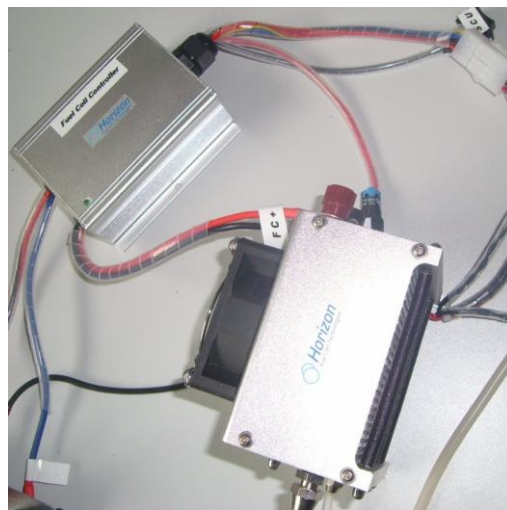
Weil so viele Unregelmäßigkeiten bei den Lesungen im Zeitpunkt der Vornahme der Maßnahme nicht den Graphen ähneln getroffen. Allerdings, wenn wir im Detail auf mehr Werte als mit der theoretischen Kurve an einem anderen Maßstab betrachten, (wie bei früheren Maßnahmen geschehen), so sehen wir, dass für kleine Werte, so der gleichen Intensität und Spannungswerte, die theoretische Kurve diesem Modell folgen.

Ein weiterer Grund kann sein, dass die Brennstoffzelle wird nicht korrekt funktionieren, weil er nicht über ausreichende Belüftung.



## 6. BRENNSTOFFZELLE H-100 Fuel Cell Stack

Dieser Abschnitt des Projekts arbeitet mit einer anderen Zelle, die H-100 Fuel Cell Stack.



Für diese ist erfordert:

- Ein Brennstoffzellen-Stack:

Es enthält eine Vielzahl von plattenförmigen Brennstoffzellen entlang einer Achse in der Regel parallel zur Zelldicke mit elektrisch leitfähigen Separatorplatten zwischen jedem Paar von Zellen angeordnet.



- H2 Supply Valve:

Es steuert die H<sub>2</sub>-Eingang. Wenn der Regler eingeschaltet wird, auch die Versorgung H<sub>2</sub> Ventil schließt. Wenn das System ausgeschaltet wird, ist es in der Position OFF zur Verhinderung der Leckage.



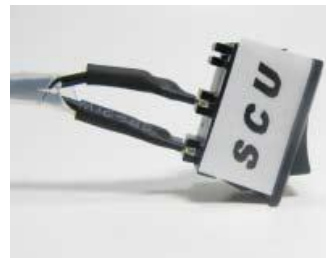
- H2 Purge Valve:

Der Controller wird die Spülzeit für die Spülung des Wassers und der Luft Gas redundant in der Brennstoffzellen-Steuerung.



- Short Circuit Einheit:

Der Kurzschluss Gerät kann eingeschaltet oder ausgeschaltet werden, je nachdem, welche Anwendung den Stack ist in. Es sorgt Leistung der Brennstoffzellen in Anwendungen, bei denen der Stack noch verstärkt wird sich für längere Zeit eingeschaltet werden.



- On / Off Schalter:

Diese schaltet den Regler ein-und ausschalten. Halten Sie es für 5 Sekunden entweder für den Betrieb ein-oder ausschalten.



- Gebläse:

Zuluft zu den Brennstoffzellen und in der Zwischenzeit Abnahme der Temperatur in den Stapel.



- Regler:

Steuert den Stack Temperatur, Gebläse-, Wasserstoff-Eingang, Reinigungs-und Kurzschließen des Stacks.



- Fuel Cell + / - Load Steckverbinder:

FC + ist es, die Brennstoffzelle Pluspol.

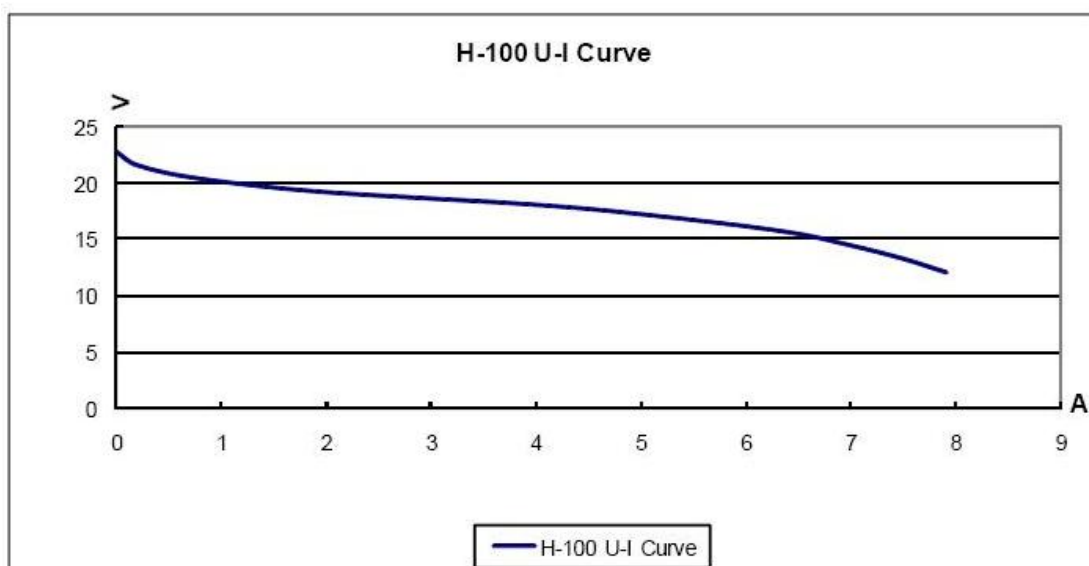
FC- ist es, die Brennstoffzelle Minuspol zu verbinden.



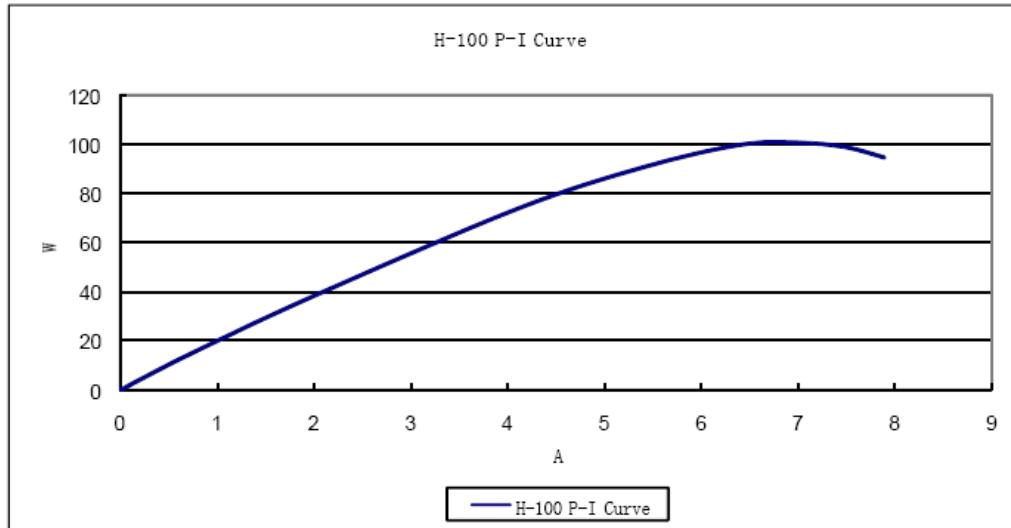
Für eine einwandfreie Funktion sollte verwendet werden 99,999% reinem trockenem Wasserstoff. Neben einem Druckregler mit der Anpassung der Druckbereich zwischen 0,4 bar und 0,45 bar. Der Druck im Inneren der Batterie wird unter 0,45 bar unter allen Umständen bleiben.

Ein externes Netzteil 13V Strom für die Stromversorgung des Controllers Versorgung / Lüfter / Ventil im System verwendet werden soll. Sie können auch eine Batterie zur Stromversorgung. Das Maximum der Peripherie konsumiert wird, ist etwa 1,5 A. Dies kann auch verwendet werden, um die Lebensdauer der Batterie zu berechnen.

Die theoretische Kurve für Spannungs-Strom für diesen Zelltyp ist unten dargestellt:



Die Leistungskurve ist jedoch folgende:



Jetzt sollten Sie überprüfen, dass die Kurve des Herstellers die Formel, die auf diese Arbeit stützt unterhält. Das Mathcad-Programm zur Angleichung der Werte der Parameter  $b$  und  $c$ , für die die Grafik ähnelt dem gegeben.

Die Ergebnisse waren wie folgt.

Die Werte werden übernommen und nach der Kurve schon gegeben:

$$U_0 := 20$$

$$I_{gr} := 9$$

Parameters:

$$R_b := 0.5$$

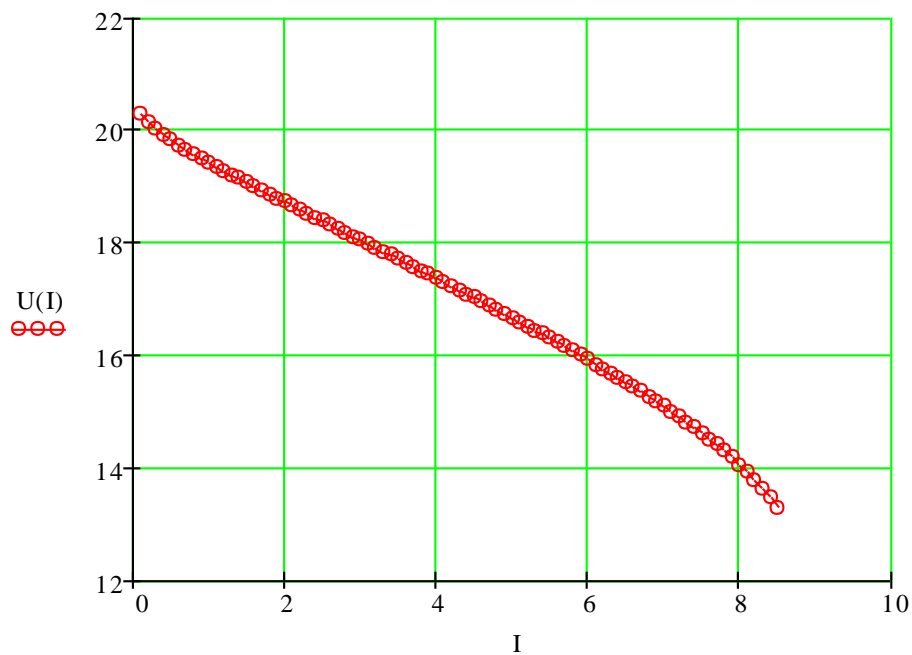
$$b := 0.35$$

$$c := 0.75$$

Die Formel bleibt gleich:

$$U(I) := U_0 - R_b \cdot I - b \cdot \log(|I|) + c \ln\left(1 - \frac{I}{I_{gr}}\right)$$

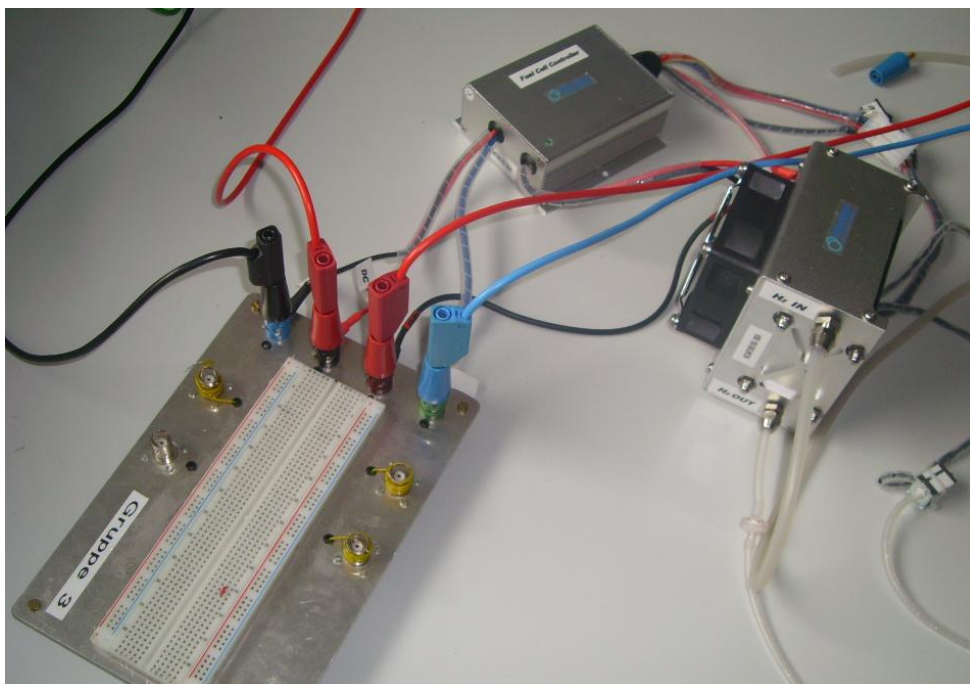
Die Kurve ist sehr ähnlich zu dem vom Hersteller angeboten, aber die Reichweite der Achsen ist anders und man kann vermuten lassen, nicht.



## 6.1 Erste Messung

Für die Realisierung dieser Maßnahme wurde ein Brennstoffzellen-H-100 Fuel Cell Stack und ein Potentiometer, dass der Widerstandswert des 220-0 Ohm variiert werden. Auch bei dieser Gelegenheit hat er festgestellt, dass das Messgerät wird 0,4 bar zu lesen.

Die Montage für dieses Brennstoffzellen-Typs ist komplexer, aber das System ist belüftet und ist in der Lage zu stoppen, wenn die Parameter ihrer Kapazitäten übersteigen.



Data-Spannung (V), Intensität (A) und Leistung (W) sind in der folgenden Tabelle dargestellt:

V	A	W
20,5	0,1	1,983
20,2	0,099	1,978
19,4	0,15	2,93
19,2	0,2	3,37
18,8	0,25	4,72
18,6	0,3	5,55
18,3	0,35	6,42
18,1	0,4	7,25
17,9	0,45	8,03
17,7	0,5	8,89
17,7	0,55	9,71
17,4	0,6	10,43
17,2	0,65	11,12
17,1	0,7	11,98
16,9	0,75	12,76
16,8	0,8	13,45
16,7	0,85	14,16
16,6	0,9	14,76
16,5	0,95	15,65
16,4	1	16,28
16,3	1,05	17,05
16,1	1,1	17,72
16,1	1,15	18,31
16	1,2	19,04
15,8	1,25	19,74
15,8	1,3	20,61
15,6	1,35	21,2
15,6	1,4	21,88
15,5	1,45	22,26
15,5	1,5	23,03
15,3	1,55	23,8
15,2	1,6	24,42

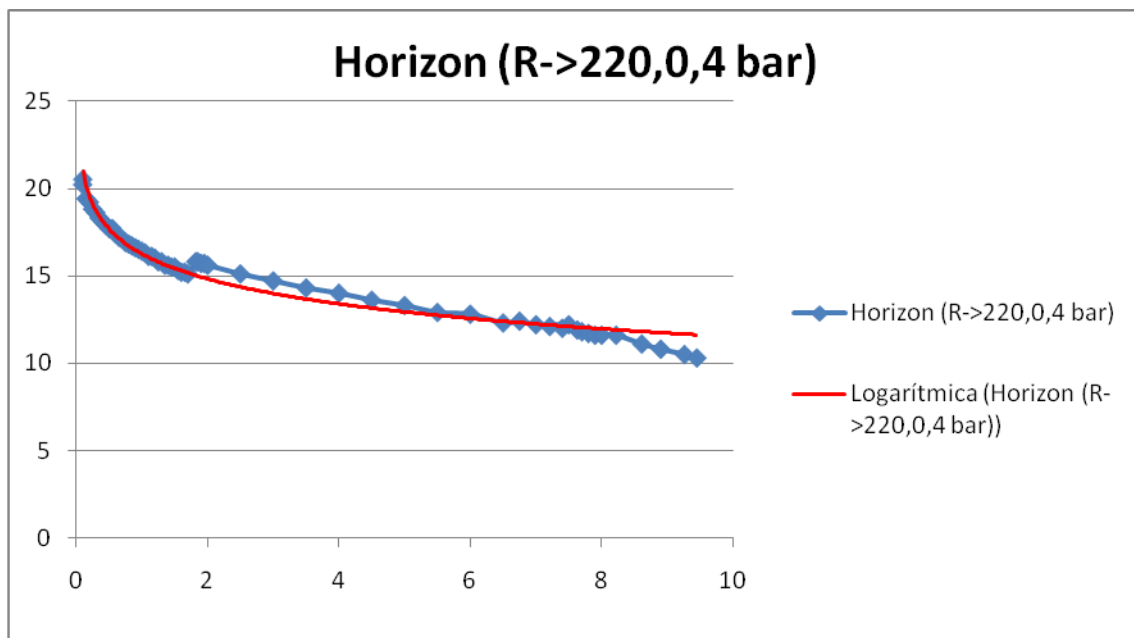
15,2	1,65	25,15
15,1	1,7	25,65
15,8	1,82	28,7
15,8	1,85	29,4
15,7	1,9	29,8
15,7	1,95	30,7
15,6	2	31,4
15,1	2,5	39
14,7	3	44,3
14,3	3,5	50,2
14	4	55,7
13,6	4,5	61,2
13,3	5	67,5
12,9	5,5	72,6
12,8	6	76,8
12,3	6,5	81,1
12,4	6,75	83,8
12,2	7	84,5
12,2	7,5	89,4
12,1	7,21	87,6
12	7,4	88,3
11,9	7,63	90
11,8	7,7	90,5
11,7	7,8	91,4
11,6	7,9	91,6
11,6	8	92,2
11,6	8,22	93,3
11,1	8,61	95,1
10,8	8,9	95,9
10,5	9,26	97,1
10,3	9,45	97,2





Wie Sie in dieser Maßnahme zu sehen waren erhalten viele weitere Werte. Der Grund dafür ist, dass diese Zellen auf Werte viel besser nehmen dürfen, denn es gibt kein Problem, dass die Maßnahme variiert ständig. Sie können auch annähernd die Größenordnung, auf die sie sucht.

Diese Zeit der Strom-Spannungs-Kurve ist wie folgt:



Wie Sie sehen können die Kurve folgt eine logarithmische Kurve und die Beseitigung der letzten Punkte, vielleicht sind die meisten skeptisch, weil die Brennstoffzelle gestoppt ist, ist es nicht notwendig, jeden Punkt zu löschen, um die Werte der Parameter zu finden.

Mit Mathcad-Programm erhalten die Werte der Parameter  $b$  und  $c$ , und die neue Grafik.

Die Werte werden direkt aus den Daten entnommen sind:

$$U_0 := 21$$

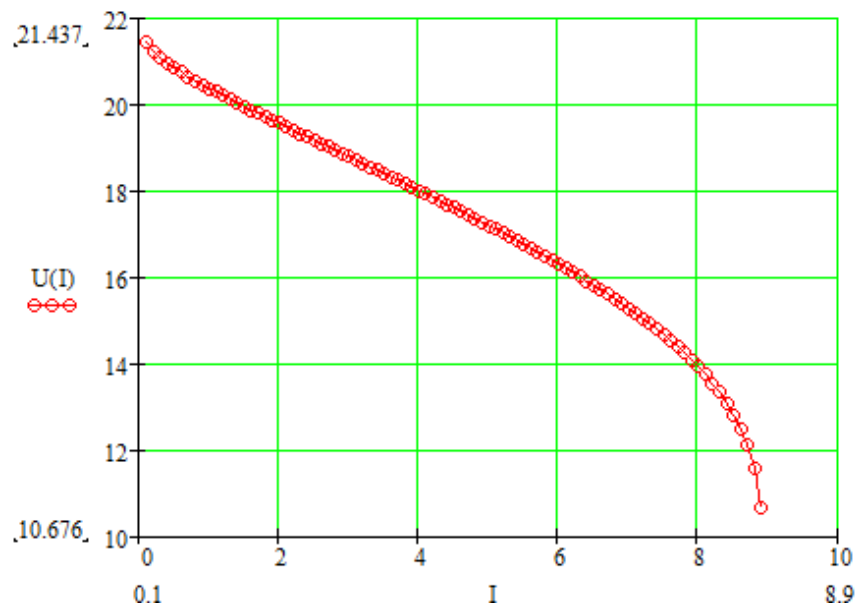
$$I_{gr} := 9$$

Die Werte der Parameter ermittelt werden:

$$R_b := 0.5$$

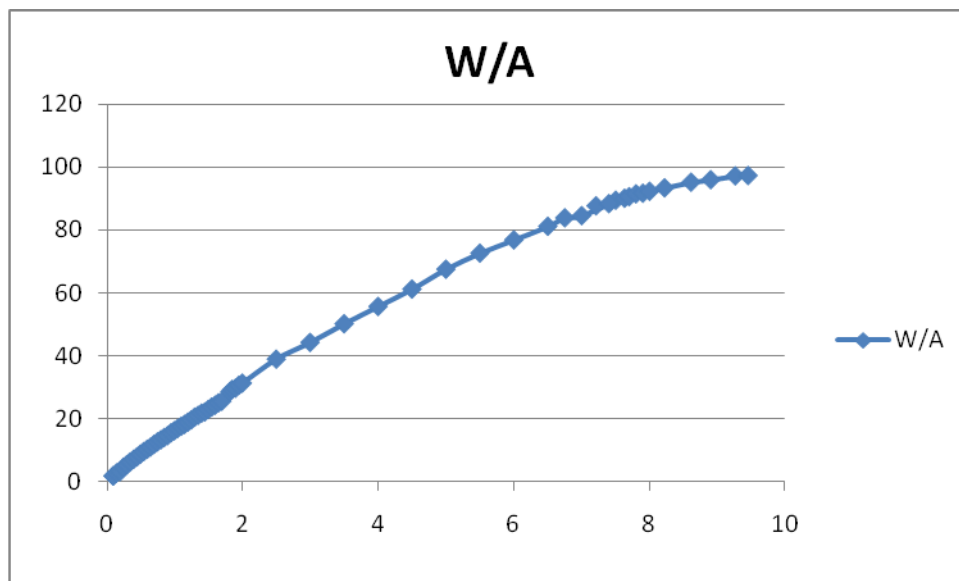
$$b := 0.5$$

$$c := 1.2$$



Wie Sie dieser Grafik sehen können, ist fast gleich, die vom Hersteller freigegeben.

Weil es ein Multimeter Messung von Spannung, Strom und Leistung verwendet zur gleichen Zeit, könnte es abholen dieser drei Arten von Werten und so mit Hilfe der Excel-Programm auf der Power-Intensität Kurve zu erhalten.

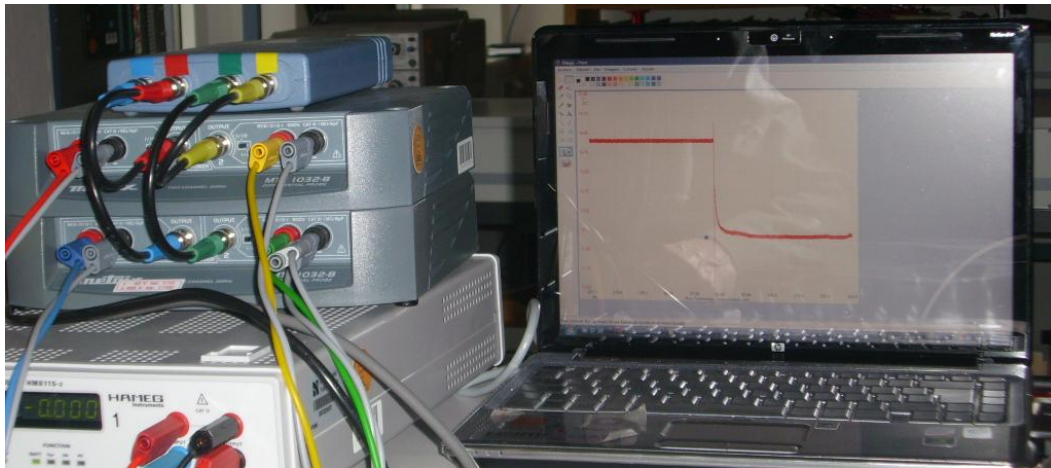


Aktiviert ist, so ist auch dieser Kurve ähnlich wie vom Hersteller angegeben, mit Ausnahme der letzten Punkte, die wie oben erklärt werden kann, weil das System war im Begriff, sich für die Intensität nicht standhalten Werte Welches war unterziehen.

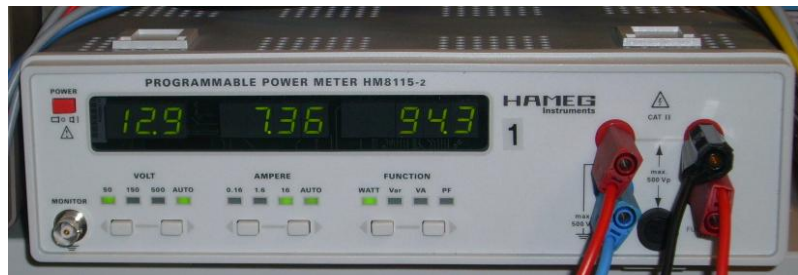
## **7. LASTSPRUNG MESSUNG**

Wie wir weiter unten gesehen haben, ist ein Sprung in der aktuellen, wenn Messungen durchgeführt. Dieser Sprung hat auch im Labor mit Hilfe von PicoScope gemessen worden.

Das Oszilloskop ermöglicht es Ihnen, auf Ihrem Computer und sehen auf dem Bildschirm deutlich zu verbinden das Ergebnis.

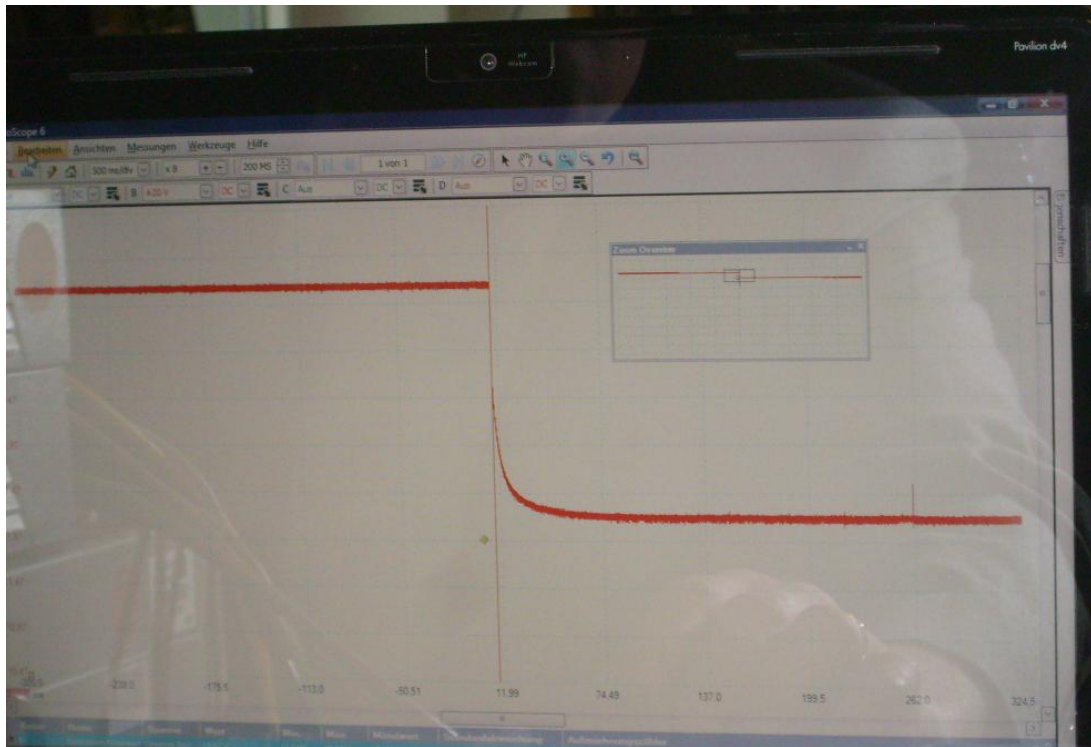


Im Labor wurde eine Reihe von Kontrollen und Maßnahmen, unter denen die Abmessungen in den folgenden Bildern dargestellt sind.



Sie beobachteten die Werte von Spannung, Strom und Leistung, dass die Kurve nahm kurz vor und kurz nach dem Sprung.

Auch auf dem Bildschirm sehen wir den Sprung perfekt definiert.



Zeigte dann, wie früher erklärt, dass es einen Sprung zwischen 0 und 90A gibt. Dieser Sprung tritt auf, wenn beide verbunden sind, wie wenn man zu trennen, aber in der Praxis kommt nicht zu sehen.

## **8. ENDGÜLTIGEN ABSCHLUSS**

Dieses Projekt wurde mit Brennstoffzellen gearbeitet, speziell mit zwei verschiedenen Modellen und hob den Wert der Parameter an die theoretischen und mathematischen Formel und prüfen, ob die Hersteller Produkte auf Basis der Theorie der Verbraucher gerecht zu bieten.

Man könnte sagen, dass die ersten Schritte, mit der Brennstoffzelle BZ12/16 getroffen, waren etwas ungenau, weil der Variation in den Daten und der Notwendigkeit, zusätzliche Belüftung hinzuzufügen.

Aber die Maßnahme Sim gemacht mit Brennstoffzelle Fuel Cell Stack H-100, viel moderner und technologisch fortschrittlicher, erlaubte uns, ein genaues Ergebnis zu erhalten, und fast genau.

So können wir sagen, dass Sie wissen sollten, um die Nutzung und zu denen die Bedingungen, dass die Brennstoffzelle haben werden. Da das Ergebnis je auf dieser für die Zelle liefern kann richtig sein oder nicht.

Auf die aktuelle brechen die Schrift auf dieses Projekt nur zu berücksichtigen, zu wissen, dass sie auftritt. Weil zu verstehen, es sollte gut über eine detaillierte und gründliche Untersuchung zu machen.

Insgesamt ist dieses Projekt, um mehr über Brennstoffzellen lernen und vertiefen das Simulationsmodell im theoretischen Teil entwickelt.

## **9. BIBLIOGRAPHIE**

Für die Entwicklung dieser Arbeit haben wir verschiedene Quellen von Informationen verwendet werden.

- Klasse Noten des Themas Solartechnik II.
- Bedienungsanleitungen für Brennstoffzellen, sowohl BZ12/16 als H-100 Fuel Cell Stack.
- Handbücher PicoScope, P-spice und Mathcad verwenden.
- Internet-Seiten wie Wikipedia, erneuerbare Energien ausgerichtete Seiten oder google images.



